



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsanduse- ja maaehituseinstituut  
Maaehituse osakond

**Markko Leimann**

**BAER'I MAJA (TARTU LINN, VESKI TN 4)  
MODELLEERIMINE; E HITUSTEHNILISE SEISUKORRA  
HINDAMINE JA RENOVEERIMISLAHENDUSTE  
PAKKUMINE**

BAER'S HOUSE (TARTU CITY, VESKI STREET 4)  
MODELLING; EVALUATION OF CONDITION OF  
CONSTRUCTION ENGINEERING AND RENOVATION  
SOLUTIONS OFFERING

Ehitusinseneriõppe lõputöö  
Maaehituse õppekava

Juhendaja: lektor Tõnis Teppand, *MSc*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Markko Leimann		Õppekava: Maaehitus (382)	
Pealkiri: Baeri'i maja (Tartu linn, Veski tn 4) 3D modelleerimine, ehitustehnilise seisukorra hindamine ja renoveerimislahenduste pakkumine			
Lehekülgi: 71	Jooniseid: 45	Tabeleid: 2	Lisasid: 10
Osakond / Õppetool:		Maaehituse osakond	
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood:		Tsiviilehitus T220	
Juhendaja:		Tõnis Teppand (MSc)	
Kaitsmiskoht ja -aasta:		Tartu 2018	
<p>Teadaolevalt liigub projekteerimine aina enam 2D valdkonnast 3D mudelite koostamise suunas. Magistritöös analüüsitakse erinevaid 3D tarkvarasid Baer'i maja näitel, antakse hinnang hoone tehnilisele seisukorrale ja pakutakse välja probleemsete kohtade renoveerimislahendused.</p> <p>Lõputöö esimeses osas uuritakse ajalugu, antakse ülevaade hoonest, krundist ja hoone valdajatest. Teises osas kirjeldatakse mõõdistusprojekti koostamise protsessi ja metoodikat, uuritakse Maaehituse eriala teise kursuse poolt koostatud mõõdistusprojekti ning tehakse selle ekspertiis. Kolmandas osas uuritakse kolme erinevat 3D modelleerimise tarkvara ning antakse hinnang nende kasutusmugavusele ja otstarbekusele, võttes aluseks Baer'i maja. Neljandas osas hinnatakse hoone seisukorda visuaalselt ning tuuakse esile probleemsed kohad. Pakutakse välja nende renoveerimislahendused. Täiendavalt uuritakse põhjalikumalt hoone sarikate seisukorda resistograafia ning tehakse kõige väiksema jääkristlõikega sarika tugevuse kontrollarvutused.</p> <p>Tarkvarade Vertex, ArchiCad ja Autodesk Revit uurimisel selgus, et teiste programmide ees on kõige suuremad eelised Autodesk Revit tarkvaral.</p> <p>Hoone tehnilisel hindamisel selgus, et hoone ees olevate keldri akende valguskastid ja voodrilaua viimistluse seisukord on halb ning leitud probleemidega peaks tegelema esimesel võimalusel.</p> <p>Antud lõputöö tulemused võivad olla aluseks hoone restaureerimise projektile.</p>			
Märksõnad: 3D modelleerimine, mõõdistusprojekt, resistograaf, restaureerimine, renderdamine.			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's	
Author: Markko Leimann		Curriculum: Rural Building (382)	
Title: Baer's house (Tartu city, Veski street 4) modelling; evaluation of condition of construction engineering and renovation solutions offering			
Pages: 71	Figures: 45	Tables: 2	Appendixes: 10
Department / Chair:		Department of Rural Building	
Field of research and (CERC S) code:		Civil engineering T220	
Supervisors:		Tõnis Teppand (MSc)	
Place and date:		Tartu 2018	
<p>Today designing is moving more and more from 2D to 3D model making environment. In this master's thesis we will analyse different 3D software on the example of Baer house, evaluation is given to buildings technical condition and renovation solutions are offered for problematic places.</p> <p>In the first part of graduation thesis buildings history is studied, overview is given about the building, the lot and its holders. In the second part the composition of measuring process and method is described, measuring project composed by land constructions specialities second course is studied and expertise is conducted. In the third part three different 3D modelling softwares are analysed and evaluation is given to their ease of use and practicality on the basis of Baer's house.</p> <p>In the fourth part the state of the building is evaluated visually and problematic places are brought forward.</p> <p>Renovation solutions for them are suggested. Additionally buildings rafters condition is thoroughly examined with resistograph and strength control calculation for rafter with smallest residual cross-section is made.</p> <p>While conducting study amongst Vertex, ArchiCad, Autodesk Revit software it became known that compared to other programs Autodesk Revit has biggest advantages.</p> <p>While conducting buildings technical evaluation it became evident that basement windows lightboxes located in front of the building and the condition of clapboards refinement is bad - these problems should be dealt with on first opportunity.</p> <p>The restoration project could be based on the results of this graduation thesis.</p>			
Keywords: 3D modelling, measuring project, resistograph, restauration, rendering.			

# SISUKORD

LÜHENDITE JA TERMINITE LOETELU .....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1 HOONE EHITUSAJALOOLINE KIRJELDUS .....	9
1.1 Krundi ajalugu .....	9
1.2 Hoone omanikud .....	10
1.3 Hoone ehitusetapid .....	13
2 MÕÕDISTUSPROJEKT .....	16
2.1 Hoone ülesmõõtmise meetodika .....	16
2.2 Mõõdistamiseks kasutatavad vahendid .....	19
2.3 Mõõdistusprojekti teostajad .....	20
2.4 Jooniste graafiline detailsus ja vastavus standardile EVS 932:2017 .....	20
2.5 Ülesmõõtmise kvaliteedi analüüs .....	22
3 3D MODELLEERIMINE .....	24
3.1 3D valitud tarkvarad ja modelleerimine .....	24
3.2 Tarkvarade analüüs .....	26
4 HOONE EHITUSTEHNILINE EKSPERTIIS .....	31
4.1 Ehitustehnilise seisukorra hindamise meetodika .....	31
4.2 Baer'i hoone ehitustehnilise seisukorra hindamine .....	32
4.2.1 Välisseinad ja vaheseinad .....	32
4.2.2 Terrass, rõdu ja sambad .....	33
4.2.3 Trepid .....	34
4.2.4 Sokkel ja Vundament .....	35
4.2.5 Aknad ja uksed .....	36
4.2.6 Katusekatted ja katusekonstruktsioonid .....	38
4.3 Tulemuste analüüs .....	39
4.4 Renoveerimislahenduste pakkumine .....	40
4.4.1 Veranda katuse sõlm .....	40
4.4.2 Sokli veenina sõlm .....	41
4.4.3 Valguskastide sõlm .....	42
4.4.4 Hoone seinte ja vundamendi värviparandused .....	43
4.5 Puidust kandekonstruktsioonide uurimine ja kontrollarvutused .....	43
4.5.1 Sarikate uurimise meetodika .....	43
4.5.2 Sarikate ristlõike mõõtmine .....	44
4.5.3 Resistograafia ristlõigete uurimine .....	44
4.5.4 Niiskuse mõõtmine sarikates .....	48

4.6	Kontrollarvutused .....	50
4.6.1	Lumekoormus .....	50
4.6.2	Tuulekoormuse arvutus .....	51
4.6.3	Omakaalukoormused .....	52
4.6.4	Sarika tugevuskontroll.....	52
KOKKUVÕTE .....		59
KASUTATUD KIRJANDUS .....		61
LISAD .....		63
Lisa 1. Mõõdulintide tolerants vastavalt Euroopas kehtestatud normidele.....		64
Lisa 2. Baer'i maja katsetused ArchiCad tarkvaras .....		64
Lisa 3. Baer'i maja katsetused Revit tarkvaras .....		65
Lisa 4. Renderdatud vaade Revit tarkvaras .....		65
Lisa 5. Renderdatud vaade ArchiCad tarkvaras .....		66
Lisa 6. Sarika ristlõigete tabel .....		67
Lisa 7. Resistograafia teostatud mõõtmised ja niiskusesisaldus (välileht).....		68
Lisa 8. Kahjustunud sarikate graafikud .....		69
Lisa 9. Mõõdistusprojekt (eraldi kammköites).....		70
Lisa 10. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.....		71

## LÜHENDITE JA TERMINITE LOETELU

BIM( <i>Building Information Modeling</i> )	-	Hoone ehituslik virtuaalne infomudel
IFC( <i>Industry Foundation Classes</i> )	-	Faili formaat, mis on tasuta kasutuses kõikidele modelleerimisprogrammidele
Konsool	-	Arhitektuuri valdkonnas nimetatakse tuge konsooliks
Balustraad	-	Rõdupiire, millel on pirnikujulised postid
Frontoon	-	Dekoratiivne madal viil, mis on kujundatud äärekarniisiga
Vahvärk	-	Konstruktiivne seinakonstruktsioon, mille elementide vahelised tühimikud on täidetud tavaliselt tellismüüritisega
Pärilin	-	Sarikaid kandev rõhtpalk või pruss
Renoveerimine	-	Ehitise või rajatise taastamine, uuendamine ja korrastamine. Võib välja vahetada ehitusosasid uuest materjalist detailidega, aga nende disain on sama mis algselt
Rekonstrueerimine	-	Ehitise või rajatise ümberehitamine, piirdetarindite ning jäigastavate- ja kandekonstruktsioonide muutmine või asendamine
Restaureerimine	-	Protsess, mille käigus peab võimalikult palju säilitama ehitise või rajatise alguspärast kuju, materjali ja väljanägemist (vajadusel eemaldades hilisemaid detaile ja kihistusi)
2D	-	Tasapinnaline ehk kahemõõtmeline
3D	-	Ruumiline ehk kolmemõõtmeline
Renderdamine	-	Ruumilisest hoone mudelist pildi loomine vastavalt vaate nurgale

# SISSEJUHATUS

Tänapäeval kasutatakse aina rohkem lühendit BIM ning projekteerimise valdkonnas ei piirduta enam 2D joonistega, vaid esile kerkib 3D mudelite koostamine. 2D jooniseid saab küll kiiremini teostada, kuid võrreldes 3D mudelitega on neis vähem infot ja see on hajutatud. Mudeli koostamine ei ole hoone välisusest ettekujutus, vaid selle taga peitub palju enam. 3D programmis on võimalik lisada materjale ja nende omadusi.

BIM (*Building Information Modeling*) on ingliskeelne lühend, eesti keeles võib seda tõlkida, kui hoone ehitusliku infomudelit. Lahti seletades tähendab see, et koostatakse ehk modelleeritakse olemasolevast või ehitatavast hoonest identne koopia vastavalt mõõtkava suurusele.

Modelleerimisprogrammide valik on tänapäeval lai. Teatud modelleerimisprogrammide arendajad keskenduvad arhitektuurile (näiteks tarkvara Archicad) ja teised konstruktsioonile (näiteks programm Vertex). On ka arendajaid, milles on mõlemad suunad olemas (näiteks tarkvara Revit).

Autor lähtus magistritöö teema valimisel endale meelepärastest valdkondadest, milleks on 3D modelleerimine ja erinevate renoveerimislahenduste väljatöötamine. Juhendaja Tõnis Teppand pakkus välja teema ja aitas leida tööks sobiva hoone. Valiti ajalooline Baer'i maja, mis asub Veski tänav 4 Tartu linnas. Autorile pakub huvi projekteerimisvaldkond ja 3D programmid, millega on kokku puutunud töös varemgi. Uueks väljakutseks sai ehitiste hindamine ja renoveerimine.

Töö eesmärgiks on hinnata 2.kursuse tudengite poolt koostatud mõõdistusprojekti Baer'i majast, võrrelda 3D modelleerimisprogramme ja anda hoonete ehitustehniline hinnang.

Eesmärgi saavutamiseks püstitatakse autori poolt järgmised uurimisülesanded:

- Analüüsitakse ja hinnatakse Maaehituse eriala esimese kursuse tudengite poolt koostatud Baer'i maja mõõdistusprojekti.
- Võrreldakse kolme 3D modelleerimisprogrammi ning antakse hinnang nende otstarbekusest, kasutades analüüsis Veski tänav 4 maja erinevaid detaile.
- Antakse ülevaade hoone ehitustehnilisest seisukorrast.

- Hinnatakse katuse puidust kandekonstruktsioone.
- Hoone kahjustunud detailide puhul pakutakse välja konstruktiivsete sõlmede võimalikud lahendusvariandid.

Magistritöö koosneb neljast peatükist.

Esimeses peatükis uuritakse Baer'i maja ajalugu, kuidas krundistati, kes olid hoone rajajad, omanikud ja/või valdajad. Lisaks kirjeldatakse erinevaid ehituse etappe ning juurdeehitusi.

Teises peatükis kirjeldatakse Baer'i maja ülesmõõtmise metoodikat ning selleks vajaminevaid vahenditeid. Uuritakse ja esitatakse analüüs Maaehituse teise kursuse tudengite poolt koostatud 2D mõõdistusprojekti detailsust ja kvaliteeti.

Kolmandas peatükis tutvutakse ja võrreldakse kolme erinevat tarkvara Vertex, Archicad ja Autodesk Revit võttes aluseks Baer'i maja modelleerimise. Tuuakse välja programmide erinevused ning positiivsed ja negatiivsed küljed.

Neljandas peatükis hinnatakse visuaalse vaatluse käigus antud hoone ehitustehnilist seisukorda ning antakse sellele üldine hinnang, kasutades Tõnu Keskküla hindamissüsteemi. Lisaks uuritakse hoone sarikate seisukorda ja mõõdetakse nende jääkristlõiget kasutades resistograafi ning teostatakse kandevõime kontrollarvutused. Töö lõpus pakutakse hoone kahjustunud kohtadele erinevaid renoveerimislahendusi. Töös kasutas autor erialast kirjandust ja standardeid.

Autor tänab magistritöö juhendajat Tõnis Teppandit, kes oskuslikult suunas ning juhendas autorit töö koostamise käigus. Lisaks tänab töö kirjutaja kõiki Eesti Maaülikooli 2017/18 õ.a teise kursuse Maaehituse eriala tudengeid, kes osalesid Baer'i maja ülesmõõdistamisel ja mõõdistusprojekti koostamisel.



# 1 HOONE EHTUSAJALOOLINE KIRJELDUS

## 1.1 Krundi ajalugu

1802. aastal andis Tartu ülikool Toomemäe ümbruses olevad krundid linnakodanikele rendile. Tasudes maamaksu said kodanikud õiguse rajada antud maale aiamaad. Enamjaolt renditi krundid välja Tartu Ülikooli töötajatele või sellega seotud isikutele. Oli ka erandeid, nendeks olid mõned eestlased ja linna käsitöölised. Uuritava krundi (tolle aegne krundi nr. 48) esimeseks kasutajaks oli rätsep Hausmann. Krundi suuruseks oli sel ajal 214 *Ruthen* ( $1\text{Ruthen} = 5,0292\text{m}^2$ ) (Muinsuskaitseamet 2010: 2).

1814. aastal sai krundi enda kätte hoiule kantseleiametnik Glinsky. Maatükk pidi olema tema käsutuses senikaua kuni leidub mõni huviline, kes oleks nõus 300 rubla maksma, et krundile aed rajada. Glinskyl oli ka krundile naabri-eesõigus. Kuna huvilisi ei leitud, üüris ta omakorda krundi välja. 1822. aastal anti krunt üle Tartu Ülikooli direktoriumi leskprouale A.W.Mestarile, kes oli selle ajani maa kasutaja ja Glinsky üüriline (Muinsuskaitseamet 2010: 2).

1853. aastal ostab Caroline von Freymann krundi Peeter Abakanovilt, kes sai selle päranduseks A. W. Metsarilt. 1867. aastal kolis antud hoonesse Karl Enst von Baer. Sellel ajal olid mõlemad krundid ( nr 48 kui ka nr 48a) C. von Freymanni käes, alad olid hooldatud ning haljastatud. Seda aega võibki lugeda tänapäevase Veski tn 4 krundi alguseks. (Muinsuskaitseamet 2010: 2).

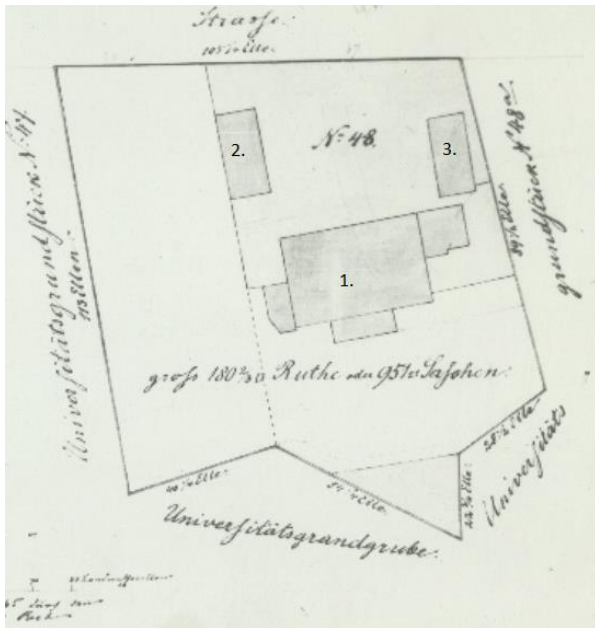
## 1.2 Hoone omanikud

Esmakordselt räägitakse krundil olevast ehitisest 1836. aasta oktoobris, nimelt käib jutt aiamaajakesest. Ülikooli direktoriumi poolt väljastatakse A.W.Mestarile luba krundil olevat aiamaajakesest parandada. Loa eelduseks on, et ehitist kasutatakse ainult aia- või aiavahimajakesena ja hoonet ei tohi välja üürida. Antud hoone informatsioon ning kus see krundil paiknes ei ole säilinud (Muinsuskaitseamet 2010: 2-3).

Järgmine teave hoonestuse kohta pärineb aastast 1856, mil leskproua A.W. Mestar pärandab krundi Peeter Abakanovile. Eelmainitu taotleb ülikoolilt luba ehitada sinna väike puumajake, gabariitmõõtudega 3x4 sülda (*1 süld võrdub 1,8 meetriga*). Peeter Abakanov saab loa ehitada, kuid antud rajatist tohib kasutada ainult aiamajana. 1853 aastal müüb P.Abakanov antud krundi edasi Caroline von Freymannile. Lepingust tuleb välja, et see ei olnud krundil ainuke hoone. P. Abakanov on ehitanud elumaja, mille juurde kuulus aed puude, põõsaste, lillede ning taimedega ja lisaks asus aias veel ka eelmainitud aiamaaja. C. Von Freymann maksis kõige selle-eest 2400 hõberubla (Muinsuskaitseamet 2010: 3).

1859 aasta 3. detsembril, taotles C. Von Freymann luba ehitada krundile puidust elamu. Ehitamine toimus tõenäoliselt 1860-1863 aastatel, mida võidakse järeldada sellest, et C. von Freymann laenas 1861 aastal J.Thomsonilt 1000 hõberubla andes pandiks selle sama krundi nr. 48, koos sellel olevate ehitistega. 1863 aastal laenas ta veel C.H.Normannilt 2000 rubla andes pandiks oma maja. Dokumentides ei ole kirjutatud, kas selleks oli Abakanovi või antud ehitatav maja (Muinsuskaitseamet 2010: 3).

1865. aastal teostatakse krundil mõõdistamine, mõõdistajaks R. Rech. Sellest on säilinud plaan (krunt nr 48), millele on peale märgitud olemasolevad hooned, nendeks on suur elumaja ning kaks väiksemat ehitist mis paiknevad elamuga ning Veski tänavaga risti (joonis 1.1) (Muinsuskaitseamet 2010: 4).



**Joonis 1.1.** a) Krundi asendiplaan aastast 1865.

(muinsuskaitseameti foto 2010)

b) Tänapäevane väljavõte maa-ameti

koduleheküljelt . (maa-ameti ortofoto 2018)

Plaanil on krunt nr 48 pindalaks  $180 \frac{2}{3}$  Ruthen ( $1 \text{ Ruthen} = 5,0292 \text{ m}^2$ ) või 951 Saschen ( $1 \text{ Saschen} = 2,13356 \text{ m}^2$ ) ja sellest oli 188 Ruthen või 992 Saschen kr. 48B-le eraldatud. 25. juunil sõlmis C. von Freymann rendilepingu ülikooliga, soovides mõlemat krunti. Esimese eest maksis ta kokku 9 rubla (ha 3 kopikat), teise eest tasus kokku 3 rubla ja 40 kopikat. Lepingu tunnistajaks oli esimene üüriline prof. dr L. Schwabe, aastatel 1864-1867 (joonis 1.1) (Muinsuskaitseamet 2010: 4).

1867. aastal kolis antud hoonesse K.E. von Baer. Sel ajal oli krundi omanikuks veel C. von Freymann. Krundil ei olnud säilinud Abakanovi-Freymanni müügi-ostulepingus nimetatud aiamaja, ülejäänud olid alles. 1874. aastal müüs Freymann krundi nr 48a dr A. von Schrenkile. 1882. aastal hinnati esmakordselt Freymanni Veski tn nr. 4 ehitisi, ning neid on järgnevalt kirjeldatud (vt joonis 1.1):

1. Elamu- palkehitis kivikatusega.
2. Tall tõllakuur- palkehitis laudkattega.
3. Puukuur- puidust vahvärk laudade ja lattidega.

1897. aastal müüdi hoone koos krundiga edasi Nadežda Andrussovale 17 800 rubla eest, krundi nr 48 suuruseks tollal oli 951,28 ruutsülda. Sellest nr 48a oli oma 713,2 ruutsülda ja

krundi nr 48b maja ees olev plats oli 237,35 ruutsülda ( *1 ruutsüld võrdub 1,8 m<sup>2</sup>*) (Muinsuskaitseamet 2010: 4).

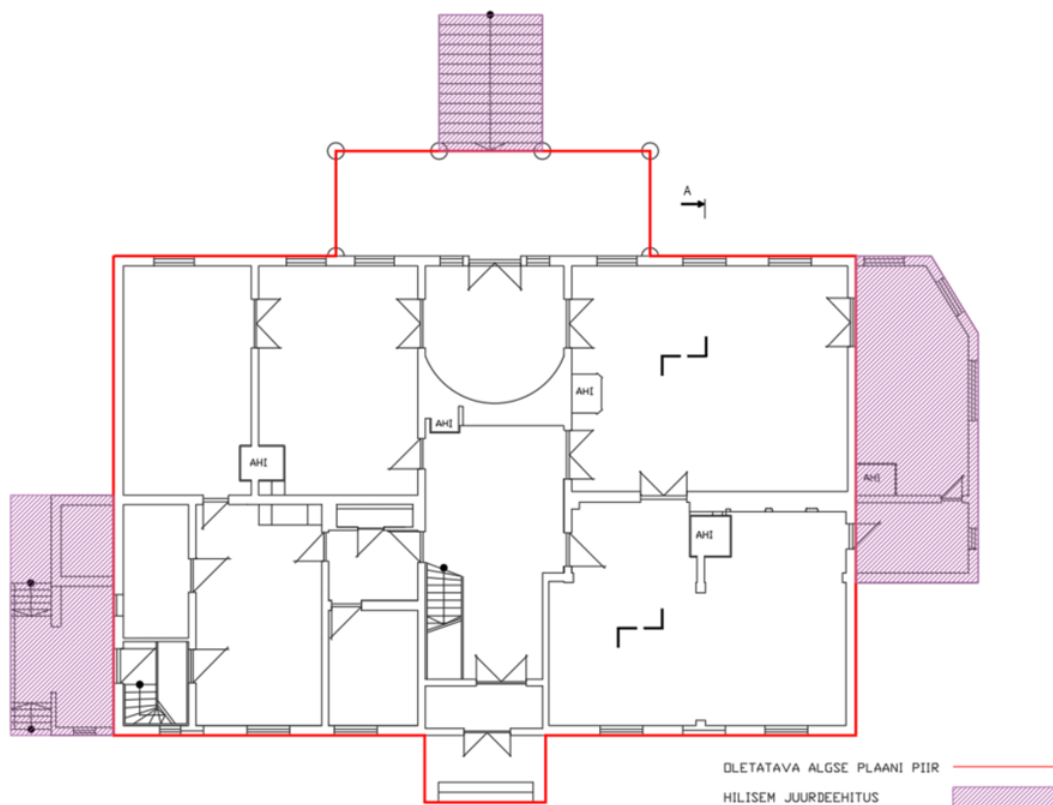
1909. aastast sai maja omanikuks O. von Seidlitzilt, kes ostab hoone N. Andrussovilt. Juba 1916. aastal pärandas ta hoone oma pojale E. von Seidlitzile. Järgmine omaniku vahetus toimus 1932. aastal kui O. von Seidlitz'i pärijad müüsid hoone Liivimaa Põllumajanduse ja Tööstuse Edendamise Seltsile. 1932-1935 aasta vahemikus läks maja üle Eesti õdede ühingu õdedekoolile. Teises maailmasõjas hoone kannatada ei saanud ning uueks omanikuks sai Tartu Elamute Valitsus, kes hindab 1947. aastal hoone väärtuseks 126 250 rubla ( selle aja kursi järgi) (Muinsuskaitseamet 2010: 10).

Aastatel 1965-1970 kasutatakse hoonet elamuna, selle omanikuks on Meditsiiniline keskkool, kes kasutas hoonet 1970. aastani. Järgnevalt antakse 1973. aastal hoone üle Teaduste Akadeemia Zooloogia ja Botaanika Instituudile, kes loob hoonesse 1976. aastal K. E. von Baer'i memoriaalmuuseumi (Muinsuskaitseamet 2010: 10).

Tänapäeval on omanikuks Eesti Maaülikool, kes sai krundi omanikuks tänu sellele, et temaga liitus Zooloogia ja Botaanika Instituut. Antud hoones tegutseb peale Baer'i eluloo muuseumi veel ajakirja "Eesti Loodus" toimetus ja Eesti Loodusuurijate Selts, mille presidendiks Baer kunagi oli (Eesti Maaülikool 2018).

### 1.3 Hoone ehitusetapid

Baer'i hoone ehitamine toimus tõenäoliselt 1860-1863 aastatel. Esialgne ehitise kuju on teadmata, kuna sellest pole pildimaterjali säilinud, võib vaid ette kujutada, milline see oli. Esimene etapp sai valmis 1864. aastal. Selle kohta on arhiivis kirjeldus, et hoone on kivikatusuga palkehitis, millel on valgeks lubjatud harjakivid. Lisaks leiab dokumentidest, et ehitisel on piklik põhiplaan, laudadega kaetud seinad ja kolm korstent. Maja kaunistas kahel pikiküljel kolmnurkfrontoonid ärkliaknaga ja tagaküljel paikneb lahtine neljale sambale toetuv katusealune, millel on balustraadiga rõdu. Esimesel korrusel olid sammaste vahed suletud ümarpostidest rõdupiirdega. Treppi, mis tänapäeval aeda viib, tol ajal ei olnud (joonis 1.2) (Muinsuskaitseamet 2010: 11).



**Joonis 1.2.** Esialgne kujutletav Baer'i hoone põhiplaan. (Autori foto)

Hoone sai veesüsteemi 1932. aastal. Töö tellijaks oli Põllumajanduse ja Tööstuse Edendamise Selts. Antud projektiga lahendati hoone torustikusüsteem ning see ühendati Ülikooli veevargiga (Muinsuskaitseamet 2010: 10).

Muudatused algasid välisfassaadist sissepääsu varikatuse ehitamisega. Varikatuse rajamiseks nihutati keskmised pilastrid eemale üksteisest. Varasemalt oli uks tihedalt pilastrite vahel nagu seda on praegu aknad – niimoodi segati fassaadi rütmi. Järgmine muutus tõi endaga kaasa fassaadilt keskmiste pilastrite eemaldamise ning ärkli allapoole pikendamise läbi kolmnurkviilu (joonis 1.3). Maja tagafassaadi poolel ehitati terrassi osa kinni kahe seina ulatuses, millesse paigaldati aknad. Avatud terrassilt eemaldati rõdupiirded ning rajati trepp aeda. (joonis 1.4).



**Joonis 1.3.** 1942. aasta foto lõunapoolsest küljest (Muinsuskaitse foto 2010)

Muudeti ka avatäiteid, nimelt tehti aknaraami piirdeliistud laiemaks, ülemine veelaud paigaldati, kolmele toele ja alumisele lisati kolm dekoratiivset paariskonsooli. Kaunistati veel ukse ümbruse piirdeliist süvenditega, ukse kuju jäi aga samaks. Tiibuks (peauks), mis oli ehitusaegne, vahetati välja 1973. aastal. Arhiividokumentide järgi tehti viimane renoveerimistöö 1973 aastal.



**Joonis 1.4.** 1942. aasta foto põhjapoolsest küljest (Muinsuskaitse foto 2010)

Baer'i maja on tunnistatud ehitismälestiseks Nr 6964. Mis tähendab, et hoone vastab ehitismälestiseks tunnistamise kriteeriumitele.

- Hoonel on säilinud nii autentsus, kui ka funktsiooni järjepidevus Eesti Loodusuurijate Seltsi näol.
- Haruldus 1860. aastal hilisklassitsistlikus stiilis ehitatud elamu on erandlik näide tempelkorrusega ehitisest Tartu linnas (Muinsuskaitseamet 2010).
- Silmapaistev kultuurilooline ja sümboolne tähendus Baer'i muuseumi näol.

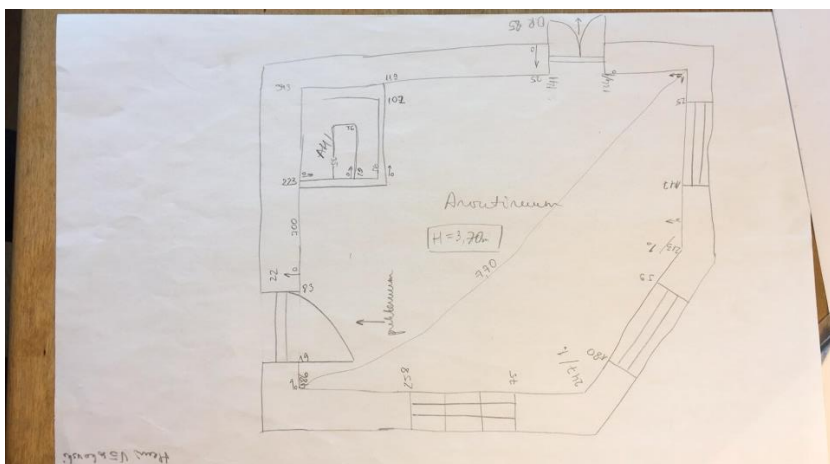
Hoonet hooldades või renoveerides tuleb kinni pidada muinsuskaitseseadustest. Hoone remontimisel ei ole lubatud kasutada algupärasest erinevaid või neid imiteerivaid materjale. (Muinsuskaitseseadus 2015, §24 lg 2 p 8). Lisaks ei ole lubatud muuta mälestise ilmet, asendada, katta või algsest asukohast eemaldada selle osi (Muinsuskaitseseadus 2015, §24 lg 2 p 5, 6).

## 2 MÕÕDISTUSPROJEKT

### 2.1 Hoone ülesmõõtmise metoodika

Ehitise mõõdistusprojekt on olemasolevast hoonest koostatud arhitektuursete jooniste ja seletuskirjast koosnev dokumentide kogum. Joonised ja seletuskiri koostatakse reaalse olukorra põhjal. Mõõdistusprojekti on vaja kui hoonele tahetakse taotleda kasutusluba või on plaanis hoonet renoveerida ning tahetakse lihtsalt hoonest ülevaadet.

Hoone ülesmõõdistamine algab ehitisega tutvumisest ja pliiatsiga vabakäega eskiisi tegemisest. Eskiis tehakse paberile, mille nimetus on välileht. Koostamisel jälgitakse, et antud hoonest koostatavad eskiisid oleksid proportsioonis tegelikuga. Mõõtmist alustatakse maja perimeetrist. Järgnevalt mõõdetakse akende ja uste asukohad, külgede pikkused, räästa ja harja kõrgused. Kui hoone gabariidid on mõõdetud, jätkatakse tööd ehitises sees. Iga ruum ja selles olevad paiksed elemendid mõõdistatakse üksikhaaval (näiteks küttekolded, seintesse sisseehitatud riidekapid jt). Mittestatsionaarseid objekte ei kajastata mõõdistusprojekti (joonis 2.1).



**Joonis 2.1.** Tudengi D. Turk poolt koostatud arvutiruumi välileht. (D. Turk foto 2018)



Ehitises sees peab mõõdetakse ka ruumides asuvate akende või uste kaugused, kuna nende põhjal saadakse kätte seina paksused ja ruumi asetuse hoones. Akende või uste avamise võimalusel mõõdetakse seina paksuseid lengist.

Vanade hoonete puhul on oluline mõõta ka ruumide diagonaalid (vastasnurkade vahelised kaugused). Kui mõõtmistulemused on võrdsed, siis on antud hoone ruumide seinad on omavahel täisnurga all. Erinevate pikkustega diagonaalidega ruumi seinad jooksevad üksteise suhtes kõveralt ehk tuba võib olla rombis.

Peale vaadete ja plaanide eskiiside teostamist, tehakse hoonest pildid. Fotod on vajalikud selleks, et hiljem vormistamisel oleks ettekujutus, milline on antud objekti või detaili väljanägemine e kontrollifunktsioonina.



## 2.2 Mõõdistamiseks kasutatavad vahendid

Selleks, et saada võimalikult täpseid tulemusi, on vaja õigeid seadmeid ja vahendeid. Järgnevalt on kirja pandud hoone mõõtmiseks olulised vahendid ja instrumendid:

- Valge paber A4 ja A3 (soovitavalt minimaalselt 100g/m<sup>2</sup>), millele teostati eskiis. Joonestuspaber „Vatman” A4 ja A3 olid vajalikud mõõdistusjooniste eelvormistamiseks.
- Mõõdulint ehk mõõtelint on elastne kindla mõõtkavaga enamasti metallist või plastikust lint lineaarsuuruste mõõtmiseks. Mõõdulintide on nii tolli- kui ka meetermõõdustikus (EE 1992 s. v. mõõtelint). Vastavalt Euroopa nõuetele, klassifitseeritakse mõõdulindid 3 täpsusklassi (Tooltech 2017) (lisa nr 1).

Hoone mõõdistustööde juures kasutasid tudengid erinevate pikkustega linte. Millest üks, lühem 5-meetrine, sisetööde tegemiseks ning teine, pikem 20-meetrine, hoone välisperimeetri mõõtmiseks.

- Laserkaugusmõõtja on seade, mille abil mõõdetakse kaugust, pindala ja ruumala. Mõõtmine toimub laserkiire abil. Mõõdik asetatakse alguspunkti ning suunatakse valitud lõpp-punkti. Enamlevinud töömaa on laserite 0.2 kuni 60 meetrit ning mõõdistustäpsus jääb +/- 1.5 millimeetri vahele.

Baer'i maja mõõdistamine teostati tudengite poolt Eesti Maaülikooli õppevahenditega. Autor kasutas hoone täiendaval ülemõõtmisel Leica DISTO D2 laserkaugusmõõdikut (joonis 2.3).



**Joonis 2.3.** Laserkaugusmõõdik Leica DISTO D2. (H. Kaseleht foto 2018)

- Vajalik on pealamp, millega saab töötada pimedates ruumides, plansett A4 kiirkinnitusega. Tähtsal kohal on joonestusvahendid. Töö teostamisel kasutati sirklit, 45 ja 60 kraadiseid kolmnurki, paralleeljoonlauda, erineva tugevusega harilike pliiatseid ja kustukummi.
- Objekti pildistamiseks kasutasid tudengid ja töö autor mobiiltelefoni kaamerat. Hoone detailsemaks jäädvustamiseks on soovitatav kasutada fotoaparaati.
- Nivelliir - riist nivelleerimistöödeks, koosneb väikesest pikksilmast, sellega ühendatud vesiloodist ja kolmjalgsest alusest. Nivelliiriga saadakse maapindade kõrgusvahed erinevate hoone nurkade vahel (Ehitusinfo 2018 s. v. nivelliir). Tudengid kasutasid juhendaja Tõnis Teppandi poolt väljastatud optilist nivelliiri H3K (1985, toodetud NSVL-is).

## 2.3 Mõõdistusprojekti teostajad

Hoone mõõdistamine toimus 2017 aastal, aine MI.1712 „Ehitiste mõõdistamise õppepraktika“ raames. Õppepraktikat, juhendas lektor Tõnis Teppand. Mõõdistajateks olid Maaehituse eriala, sel ajal veel esimese kursuse tudengid. Tudengid töötasid hoone mõõtmisel lülidena (alates 2 tudengit rühmas), mille juhiks oli Doris Turk. Iga grupp mõõtis üles eelnevalt kokkulepitud hoone osa, lisaks sellele mõõtis iga tudeng personaalselt ühe hoone detaili (näiteks akna, ukse, karniisi jne). Mõõdistajad koostasid oma joonised vastavalt Maaülikooli üliõpilastööde vormistamise juhendile. Enne jooniste digitaalset vormistamist õppisid üliõpilased sügissemestril kasutama Autocad 2018 tarkvara. Õpe toimus aine MI.1714 „CAD-süsteemid (2D)“ raames, mida viis läbi lektor Villu Leppik. Jooniste vormistamine toimus teise kursuse sügissemestri teisel poolel, kui programmist oli juba ülevaade olemas. Tudengid kasutasid Autocad tarkvara ning koostasid mõõdistusprojekti 2D-joonistena (Anderson *et al*, 2017).

## 2.4 Jooniste graafiline detailsus ja vastavus standardile EVS 932:2017

Uurides hetkel kehtivat ehitusseadustiku tuvastati, et mõõdistusprojekt ei ole antud seaduses määratletud (Ehitusseadustik 2015). Tuvastati, et mõõdistusprojekt kui selline ei ole üldse

seadusega määratletud, Viimased Riigi Teataja aktid, mis antud terminit käsitlesid on "Ehitusseadus" ja "Nõuded ehitise kasutusloa taotlemisel esitatavale ehitise mõõdistusprojektile" (Ehitusseadus 2015) (Nõuded ehitise kasutusloa taotlemisel esitatavale ehitise mõõdistusprojektile 2015). Nende kehtivus lõppes 01.07.2015, ning asemele tuli Ehitusseadustik. Hetkel kehtivas määruses "Nõuded ehitusprojektile" on kirjas ainult, et ümberehitamise korral on vajalik olemasolevale ehitise mõõdistusprojekt, kuid mõõdistusprojekti nõudeid pole (Nõuded ehitusprojektile 2015).

Uurides eelkäijat EVS "Hoone ehitusprojekt" ning hetkel kehtivat EVS "Ehitusprojekt" tuvastas autor, et nendes kirjeldati mõõdistusjooniseid kuid ei kirjeldatud mõõdistusprojekti tervikut ning nende nõudeid (EVS 811:2012) (EVS 932:2017).

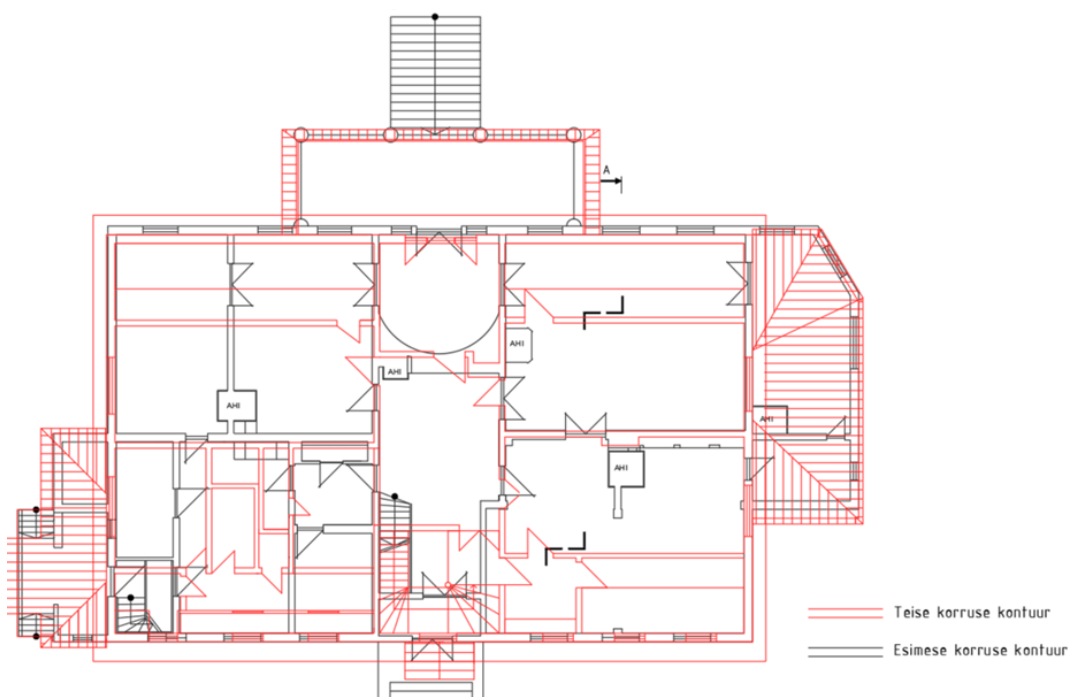
Antud avastus on probleem, kuna Eestis on palju hooneid ja rajatisi, mis vajavad tagantjärele mõõdistamist ning kasutusloa taotlemiseks mõõdistusprojekti koostamist, e ehitise seadustamist. Ei leitud samas ka seda, et mõõdistusprojekt kui selline oleks ära kaotatud või ümbernimetatud. Kuna kehtivaid nõudeid mõõdistusprojektile ei ole, siis graafilist poolt ja nõudeid hinnatakse EVS 932:2017 ehitusprojekti eelprojekti nõuete järgi. Antud juhul tuleb silmas pidada, et eelprojekti nõudeid ei saa üks ühele üle võtta mõõdistusprojekti koostamiseks, kuna eelprojekti nõuded on rangemad.

Jooniste detailsuses märgati puudujääke. Esiteks puudusid joonistelt osad mõõdud (näiteks teise korruse plaanil on 13-nda ja 14-nda ruumi seina paksused puudu) (lisa nr 9 Mõõdistusprojekt eraldi kammköites). Võrreldes erinevaid jooniseid märgati, et tudengid olid erineva stiiliga vormistanud (näiteks parema ja vasaku vaate puhul oli kasutatud kontuuride joonistamisel halli värvi kuid esi- ja tagafassaadis musta). Samuti olid joonised erineva detailsusega vormistatud (näiteks parema vaate joonisel olid vihmaveesüsteemid peale joonistatud kuid ülejäänud vaadetel puudusid). Mõõdistusprojekti lõikel kasutati viitejoone otsas noolt, kuid hoonete jooniste juures ei tohi kasutada sellist viitamist kuna see on masinaehitusjoonestamises kasutatav tähis (lisa nr 9 Mõõdistusprojekt eraldi kammköites, lõige A-A). Õige oleks antud noole asemel kasutada punkti või lihtsalt nool ära jätta.

Positiivseks küljeks võib lugeda õiget mõõtkava kasutamist nii plaanide, vaadete ja sõlmede puhul. Teise korruse plaanidel on erinevate tasapindade märkimine tehtud õigesti (EVS 932:2017).

## 2.5 Ülesmõõtmise kvaliteedi analüüs

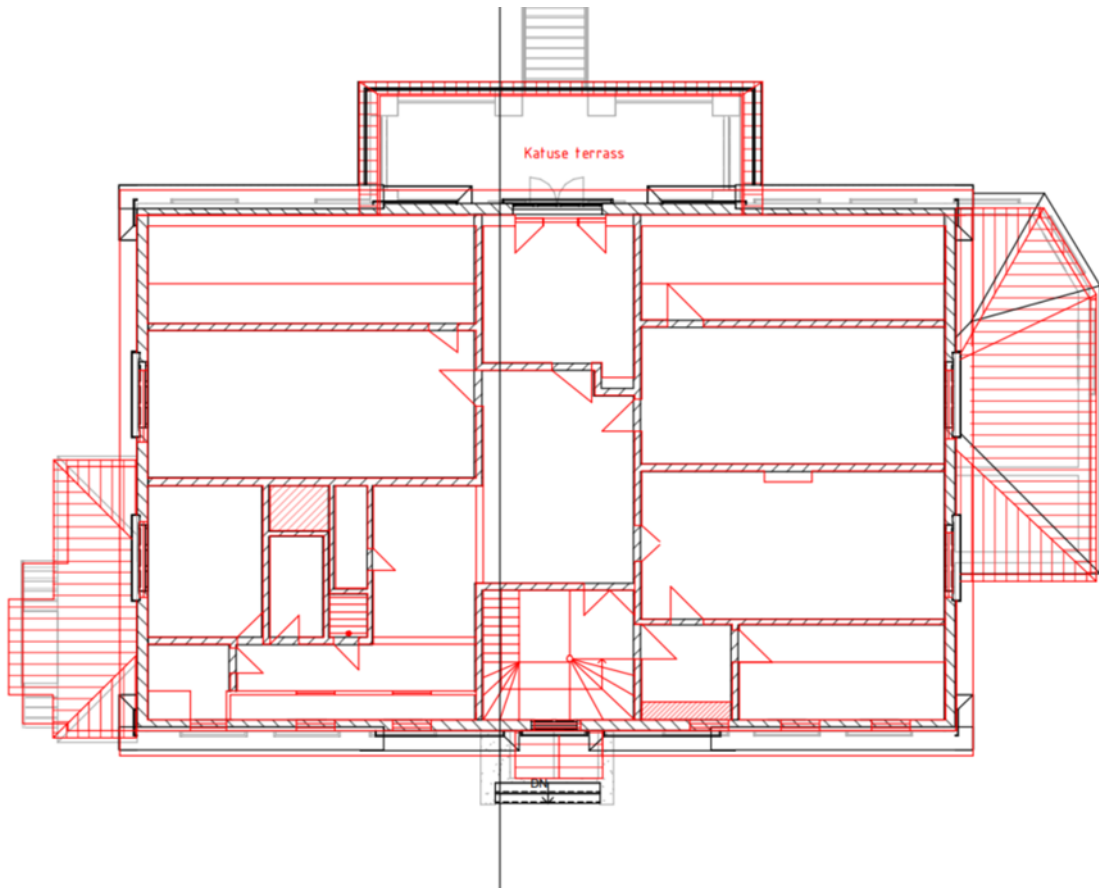
Baer'i maja võeti 3D mudeli loomise aluseks teise kursuse tudengite poolt koostatud mõõdistusprojekti. Kontrolliks asetati esimese ja teise korruse plaanid kohakuti, et võrrelda nende kokkusobivust. Töö käigus selgusid ebatäpsused, mille tulemusel tuli teha hoone juures kontrollmõõtmisi. Võrdlusest tuli välja korruste vahelise trepi ja gabariitide mõõtude ning asukoha erinevus (joonis 2.4).



**Joonis 2.4.** Esimese korruse ja teise korruse erinevus. (Autori foto)

Täpsustava mõõtmise tulemusel selgus, et tudengite poolt esitatud esimese korruse andmed olid õiged. Kuna hoonel on välised mõõdud ühesugused, võib järeldada, et teise korruse gabariitide näidud olid ebatäpsed. Sama probleem ilmnis ka trepi ja rõdu asukoha määramisel. Selguse saamiseks kasutas autor hoone 3D mudelit (Joonis 2.4).

Peale mõõtude üle kontrollimist koostati hoone 3D mudel. Võttes aluseks hoone 3D mudeli ning võrreldes seda mõõdistusprojekti teise korruse plaaniga leidis autor vea, milleks oli teise korruse ebatäpsed mõõtmistulemused (joonis 2.5). Samad eksimused esinesid ka vaadetel ja lõigetel. Hoone põrandate ja harjade kõrgused olid erinevad.



**Joonis 2.5.** Mõõdistusjoonise teine korrus ja 3D mudeli teise korruse erinevus. (Autori foto)

Ebaõnnestumise põhjuseks arvab autor, et tudengitel jäi eelnevalt kokku leppimata, mis tasand võetakse nulljooneks. Vigu oleks saanud vältida juhul, kui esimese ja teise korruse mõõtmist teostanud üliõpilased oleksid omavahel rohkem suhelnud ja võrrelnud mõõtetulemusi.

### 3 3D MODELLEERIMINE

3D modelleerimine on teatud arvutiprogrammiga kolmemõõtmelise mudeli loomine mingist füüsilisest objektist. Kolmemõõtmelist arvutitarkvara kasutatakse erinevates valdkondades, näiteks mängude tegemisel, virtuaalreaalsuse loomisel, hoonete projekteerimisel, turunduses jm. Tasapinnalisi kujundeid saab muuta ruumiliseks 3D modelleerimise abil (näiteks ringi keraks, kolmnurga püramiidiks) (Rouse, M. 2016). Esimeseks modelleerimistarkvaraks maailmas oli *Syntha Vison*, mida rahvale tutvustati 1969 (Sculpteo 2018). Loodud 3D mudeli abil saame informatsiooni, kuidas rajada mingi kujutise füüsilist keha ja vaadelda objekti erinevate nurkade alt.

#### 3.1 3D valitud tarkvarad ja modelleerimine

Valiti välja kolm tarkvara, millega modelleeris uuritava ehitise erinevaid detaile (aknaid, uksi, seinu) ning kahega neist koostati 3D mudelid Veski tänaval asuvast Baer'i majast. Valiku tegemisel lähtuti aines MI.0650 "Ehitustarindite projekteerimise ja BIM-i alused" õpikut ja huvi pakkuvatest tarkvaradest.

Esmaseks valikuks oli ArchiCAD tarkvara, millega on töö kirjutajal kokkupuuteid olnud 3 aastat. Programm on väljatöötatud 1982 aastal Ungaris ettevõtte Graphisoft poolt ning on BIM-programmide seas üks esimesi. Antud tarkvaraga on võimalik luua arhitektuurseid ja konstruktiivseid virtuaalkujundeid (hooneid, objekte) (Quirk, V. 2012).

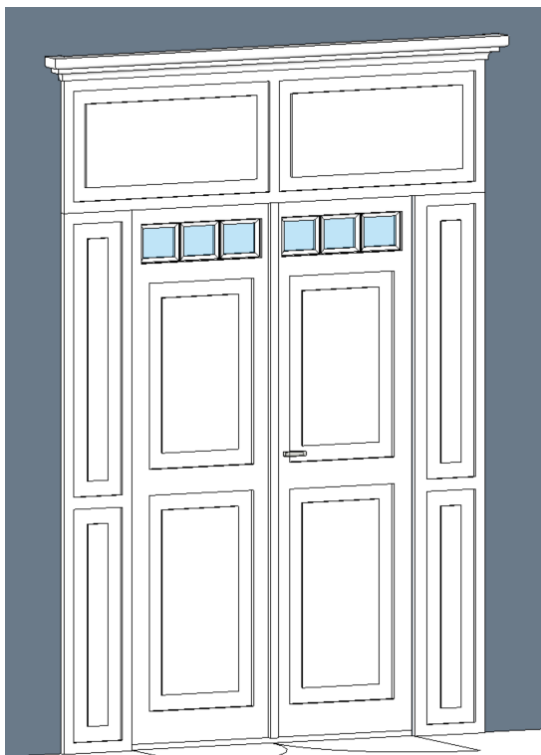
Teiseks osutus Vertex programm, mida autor käis õppimas Soomes Vertex koolituskeskuses. Antud tarkvara jaguneb kaheks: terase ja puidu konstruktsioonide projekteerimine. Need on kasutusel üle maailma, kuid peakorter ja arendus tegevus toimub Soomes. Autoril oli kasutada Vertex BD õpilasversioon, mis sisaldab kõiki lisasid.

Kolmandaks väljavalituks sai Revit tarkvara. Programmiga tutvuti veebikeskkonnas, lähtudes erinevatest juhenditest. Revit kuulub Autodesk programmide hulka, mis on



spetsiaalselt loodud BIM koostamiseks. Revit on juhtiv 3D modelleerimises oma mitmekülguse poolest. Tarkvaras on võimalik ideed realiseerida hoone konstruktiivse, arhitektuurse ja tehnosüsteemse lahendusega. Programmi peakorter ja arendus toimub USA-s (Ameerika Ühendriigid).

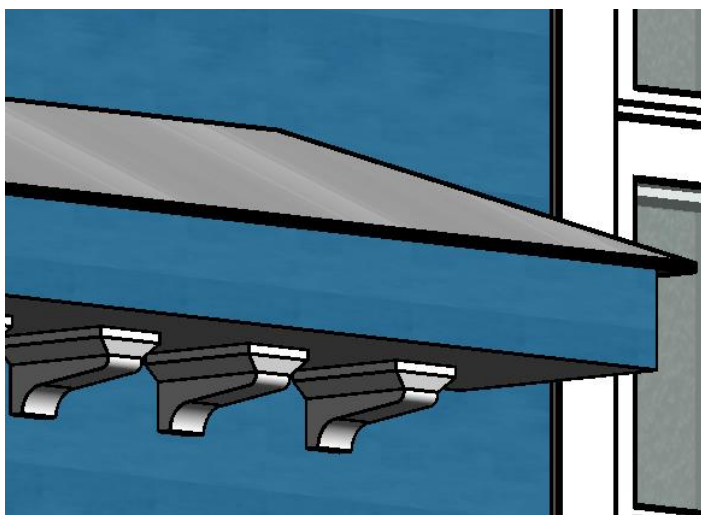
Modelleerimist alustati ArhiciCAD tarkvaras, milles koostas 3D mudeli Baer'i hoonest (lisa nr 2). Järgnevalt hinnati töö programmi lisade mitmekesisust, loomise lihtsust ja idee teostamise võimalusi (näiteks uksele erinevate süviste tegemist) (joonis 3.1).



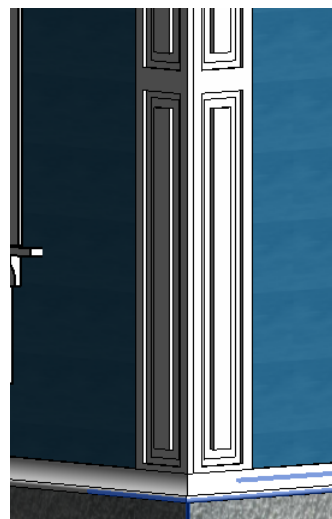
**Joonis 3.1.** a) arvutiprogrammiga Revit. (Autori foto)

b) foto samast uksest. (Autori foto)

Samuti katsetati hoone 3D mudeli loomist Revit tarkvaraga (lisa nr 3). Revit tarkvaras sooritati rohkem erinevaid katseid kui eelnevalt mainitud programmides kuna autorile oli tarkvara uus ning see pakkus talle kõige rohkem huvi. Lisaks teistele operatsioonidele katsetati hoone räästas olevate detailide ning ka nurgalaudade loomise lihtsust (joonis 3.2 ja 3.3).



**Joonis 3.2.** Räästas oleva karniis Revit tarkvaras. (Autori foto)



**Joonis 3.3.** Nurgalaudad nikerdustega. (Autori foto)

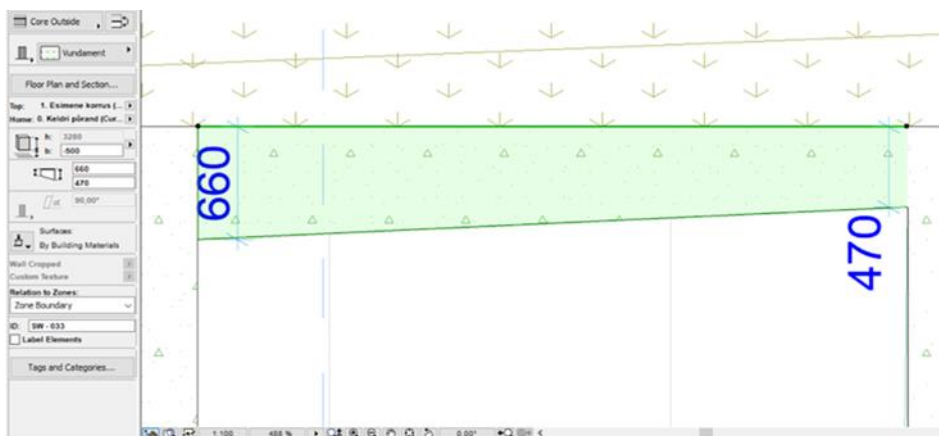
Testiti kahe programmi omavahelist sobivust. Alustuseks modelleeriti Autodesk Revit tarkvaras esimese korruse aken, sellest koostati IFC (*Industry Foundation Classes*) formaat, mis teisaldati Archicad programmi. BIM (*Building Information Modeling*) süsteemides on IFC ainus standardne 3D elementidele suunatud ning vabalt kasutatav andmevahetuse formaat (3D EKSPERT OÜ 2018).

Kolmandaks võrreldi Archicad ja Revit tarkvara renderdamise kvaliteeti. Selleks võeti hoone mudelid ligikaudselt sama nurga alla, määrati samad kvaliteedi nõuded (lisa nr 4 ja nr 5).

### 3.2 Tarkvarade analüüs

Siin peatükis analüüsi kolme erinevat tarkvara kvalitatiivsel meetodil.

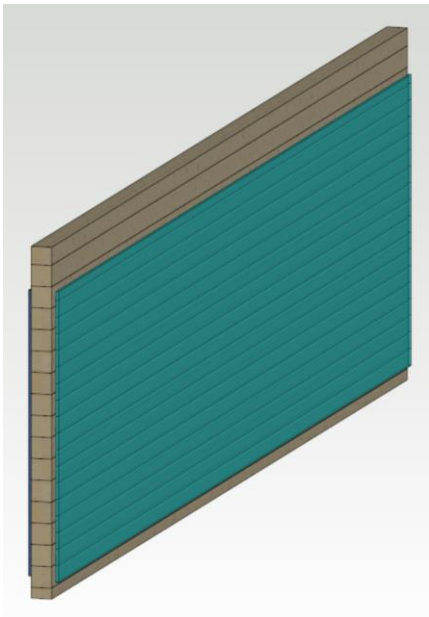
ArchiCAD tarkvaral on suurepärased vormistamise võimalused võrreldes teiste programmidega. Vormistamisel saab valida joonise formaati, sobivat kirjanurka ja raamjoont. Pildid ja vaated saab lihtsalt kahe klikiga lisada alusjoonisele. Seinte modelleerimisel on ArchiCAD tarkvara kiirem ja mugavam kui Vertex (näiteks erinevate parameetrite alusmüüri joonistamisel saab kasutada trapets seina funktsiooni (trapezoid), milles saab märkida erinevaid mõõte) (joonis 3.4).



**Joonis 3.4.** Tarkvaras ArchiCad koostatud muutuvpaksusega sein (Autori foto)

ArchiCAD programmil on mitmeid häid omadusi, näiteks on kerge modelleerida hoonele erinevaid detaile ning standartseid avatäiteid. Ehitise uste ja akende loomise süsteem on ArchiCAD tarkvaras pikem ja keerukam protsess kui Revit programmis. ArchiCAD tarkvara sobib arhitektuurse kuvandi loomiseks hoonest.

Vertex programmis analüüsiti koolituselt saadud algteadmiste põhjal. Programmi eeliseks võrreldes ArchiCAD tarkvaraga on võimalus määratleda seinte struktuuri erinevate materjali kihtidega (näiteks voodrilaud, õhkvahe, tuuletõke ja kandev puitkarkass). Täiendavalt saab erinevaid kihte vaadelda ja vajadusel välja lülitada (näiteks tuuletõkke ja voodrilaua vahele distantsliistude paigaldamisel saab ühe käsklusega välja lülitada voodrilauad ükshaaval või koos) (joonis 3.5).

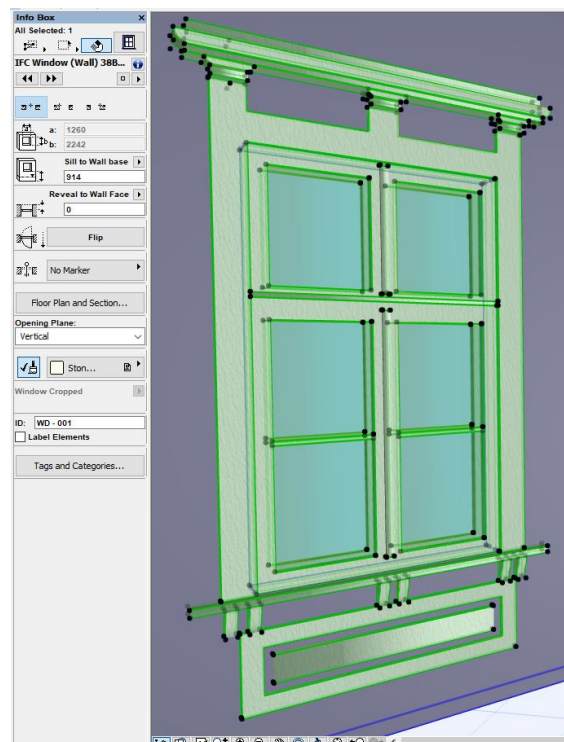
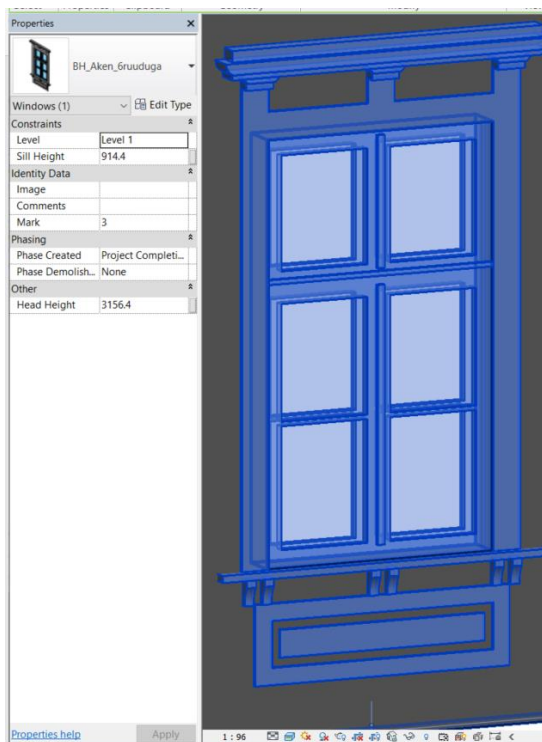


**Joonis 3.5.** Vertex tarkavaraga tehtud sein, kus konstruktiivsed ja viimistluskihid on eraldatud üksteisest. (Autori foto)

Jooniste vormistamine ja 3D mudelist väljavõtte tegemine (2D formaat) on keerukam Vertex programmis kui teistes tarkvarades. Automaatne mõõtkettide funktsioon raskendab objektide mõõtude korrigeerimist (näiteks väljavõttel seinakarkassist genereerib programm automaatselt mõõteketid ning oluliste mõõtmete selekteerimine kujuneb keerukaks). Vertex programm sobib elementhoonete projektide koostamiseks.

Tarkvaraga Revit töötamine pakkus autorile kõige suuremat huvi. Hoonete projekteerimisel on see leidnud laialdast rakendamist, kuna Autodesk korporatsiooni poolt loodud programmide omavaheline sobivus on hea, sest need on loodud sama arendaja poolt. Revit tarkvaral on lihtne 3D detailide loomine 2D alusjooniste põhjal (näiteks Autocad tarkvaras koostatud alusjooniseid saab kasutada põhjana 3D detaili loomisel).

Revit programmis kehtestatud algsed parameetrid ja materjali liigid liikusid koos objektiga kaasa ArchiCAD tarkvarasse. Programm ArchiCAD võttis omaks Revit tarkvaras määratletud andmed. Täiendama pidi materjalide värve, kuna programmidel on erinevad värvikaardid (näiteks Revit tarkvaras määratletud andmete põhjal ArchiCAD eraldas akna kõik detailid: leng, klaas ja raam) (joonis 3.6).



**Joonis 3.6.** a) Revit tarkvaras koostatud aken

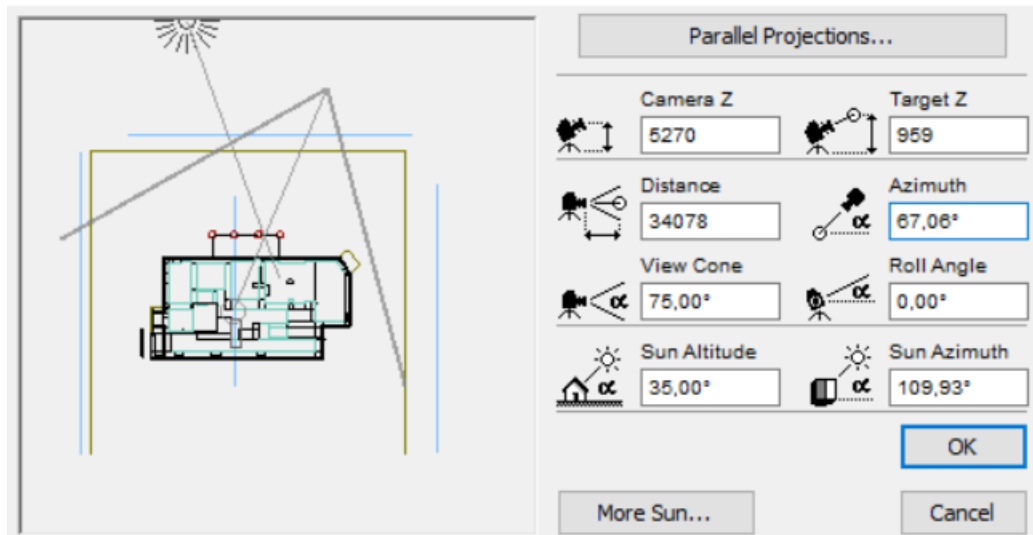
(Autori foto)

b) Archicad tarkvarasse teisendatud sama aken.

(Autori foto)

ArchiCAD tarkvaraga võrreldes on Revit programmiga eelis katuse struktuuri loomises (näiteks on lihtne määratleda, millist tüüpi katust projekteeritakse, kallete ja nurkade modifitseerimine vastavalt vajadusele). Tarkvara Revit määrab automaatselt erinevate konstruktsioonide alguse ja lõpu (näiteks katuse ja seina kokkupuute punkt).

Renderdamise võrdlemisel ei hinnatud detailsust kuna erinevate programmide katsetuste tulemusel olid mudelid eri etappides. Renderdamises kiireim oli Archicad tarkvara, sest mudelil oli vähe detaile. Päikese ja taeva parameetrite säätimine on Archicad programmis mugavam kui Revit tarkvaras. Parameetreid saab lihtsalt muuta ja kõik on ühel leheküljel (joonis 3.7). Võrreldi renderamise kvaliteeti. Hindamisel selgus, et mõlemal programmil on hea kvaliteet (lisa nr 3 ja nr 4).



**Joonis 3.7.** Päikese ja vaate nurga muutmise parameetrid ArchiCad tarkvaras (Autori ekraanitõmmis)

Tarkvarade Vertex, ArchiCad ja Autodesk Revit võrdlemisel tehti järeldusi, et programmi Autodesk Revit eelised on kõige suuremad. Kuna, enamus projekteerijaid kasutab oma töös Autodesk korporatsiooni poolt loodud ja arendatud tarkvarasid, mis sobituvad omavahel hästi ning neid on lihtne teisendada programmide vahel, loob see suuremaid võimalusi ja mugavuse kasutamises.

## 4 HOONE E HITUSTEHNILINE EKSPERTIIS

### 4.1 Ehitustehnilise seisukorra hindamise metoodika

Hooneid hinnatakse väga erinevatel põhjustel (näiteks hoone elamis- või kasutuskõlblikust, renoveerimis-, hooldus- või rekonstrueerimistööde planeerimiseks, seadustega vastavuse kontrolliks). Ekspertiisi teostajal peab olema vastav tehniline kvalifikatsioon, haridus ja pädevused Kutsestandardi mõistes. Hindamine koosneb hoonega tutvumisest, probleemide leidmisest ning hinnangu andmisest.

**Tabel 4.1.** Tõnu Keskküla loodud hindamisetabel

Hinne	Olukorra kirjeldus
3	Hea seisus, täiesti korras
2	Osaliselt kulunud
1	Märgatavalt kulunud, kohati avariiõhtlik
0	Täiesti kulunud, avariiõhtlik

Hoone hindamisel kasutati Eesti Maaülikooli professori Tõnu Keskküla poolt koostatud tehnilise seisundi hindamise metoodikat (tabel 4.1). Antud metoodika kohaselt hinnatakse tarindeid ja üldist hoone tehnilist olukorda numbriliselt. Selleks kasutatakse neljapallisüsteemi, kus 0 on kõige madalam ja 3 kõige kõrgem, lõpptulemus sõltub suuresti hindaja kogemustest. Aluseks on visuaalne vaatlus. Iga ehitise osa hinnatati eraldi ning hinnetest koostati tabel (Käärid, S. 2002).

## 4.2 Baer'i hoone ehitustehnilise seisukorra hindamine

### 4.2.1 Välisseinad ja vaheseinad

Hoone kandvateks elementideks on tahutud palkseinad. Välisseinte pakus on ligikaudu 300mm. Väljast on need kaetud horisontaalse voodrilauaga ning sisemiseks pinnaks on puidust laastudest krohvimatil lubikrohv, mis on viimistletud tapeedi või värviga.



**Joonis 4.1.** Läänepoolne terrassi sein. (Autori foto)

Vaheseinte paksus varieerub 100 kuni 300mm, millel on puitsõrestikul krohv ning viimistluseks on kasutatud tapeeti või värvi.

Täheldati hoone vaatlemisel, et maja lääneküljel on voodrilaudadelt hakanud värv kooruma (joonis 4.1).



**Joonis 4.2.** Läänepoolne metallist sokliliist. (Autori foto)

Korrosiooni tulemusel on lagunema hakanud veenina ja seinaga vahel olev metallist liist (joonis 4.2). Samuti on kulunud veenina viimistlus.



#### 4.2.2 Terrass, rõdu ja sambad

Terrass tugineb tellispostidele (keraamiline savitellis) ning on puidust, mis on kahe seina ulatuses kinni ehitatud. Platvormi põhja poolt viib aeda trepp. Rõdu on tehtud puitkonstruktsioonile ning kaetud bituumenkattega. Rõdu toetub neljale sambale, mis on valmistatud betoonist, kaunistatud dekoratiivsete detailidega ja vahed on suletud ümar puitpostidest rõdupiirdega.

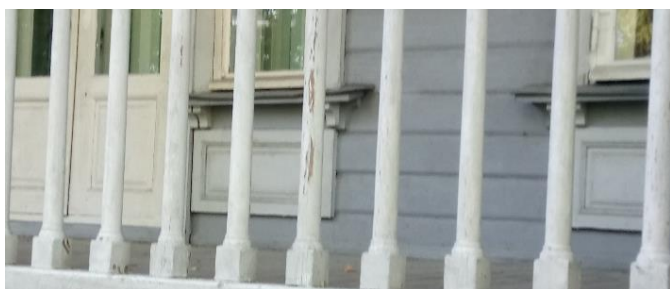


**Joonis 4.3.** Must hallituse kahjustused ülemises osas. (Autori foto)



**Joonis 4.4.** Värv kahjustused sammast alumises sammaste osas. (Autori foto)

Vaatlemise käigus tuvastati, et sammastel on näha Must hallituse levikut ja alumises osas värvi koorumist. Sammaste tarind on heas seisus, kõik kahjustused on pinnapealsed (joonis 4.3 ja 4.4).



**Joonis 4.5.** Terrassipiirde värvi koorumine. (Autori foto 2017)

Terrassi peal oleva teise korruse rõdupiirde oli ruutristlõikega lattidest tehtud ning lammutati 2017 aasta sügisel. Terrassi piiretel esineb värvi kahjustusi, mis on tingitud värvi

katte vanusest ja päikese kiirguse mõjust sellel. Terrassi põrandalauad on kulunud (joonis 4.5).

### 4.2.3 Trepid

Terrassi trepil esineb hallitusseent ja on näha astmelaudade kasutamisest tingitud kulumist (joonis 4.7). Puidust käsipuul on märgata pruunmädaniku (Konsa, K. Pilt, K. 2012) (joonis 4.6).



**Joonis 4.6.** Terrassi trepi käsipuu peal olev Pruunmädanik. (Autori foto)



**Joonis 4.7.** Terrassi trepiastmetel olevad vetikad. (Autori foto)

Autor märkas, et hoone sisemistel, läänepoolsel ja lõunapoolsel trepil esineb kasutamisest tingitud kulumisjälgi, üldine seisukord hea. Suuremaid kahjustusi ei tuvastatud.

#### 4.2.4 Sokkel ja Vundament

Vundament on tehtud maakividest, mis on väljast kaetud lubikrohviga. Keldri siseseinad ja võlvid on laotud savitellistest ja viimistletud lubikrohviga. Vaatlemise käigus ei tuvastanud autor sokli kandvas osas kahjustusi. Õuest võib märgata põhjapoolsel küljel värvi koorumist, mis võib olla tingitud liigsest niiskusest (joonis 4.8).

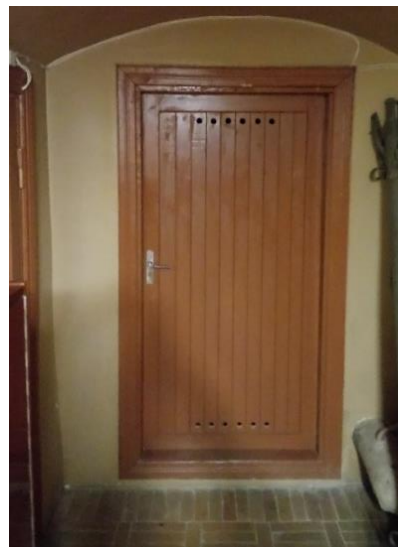


**Joonis 4.8.** Põhjapoolse sokli osa niiskuse kahjustused. (Autori foto)

Hoone vaatlemisel tuvastas autor, et keldri siseseintelt on üksikute kohtadest krohv pudenenud (joonis 4.9). Üldpildis on krohv hästi säilinud nii võlvidel kui ka seinas (joonis 4.10).



**Joonis 4.9.** Keldri siseseinalt pudenenud krohv. (Autori foto)



**Joonis 4.10.** Keldri siseseinad. (Autori foto)

#### 4.2.5 Aknad ja ukсед

Hoonel on puitraamidega ukсед ja topelt puitraamidega aknad. Avatäidete ümber on puidust nikerdatud piirdeliistude detailid. Vaatlemise käigus tuvastas autor, et aknaid on mõned aastad tagasi renoveeritud. Värvide koorumisest võib järeldada, et antud tööd ei ole tehtud korralikult (näiteks eelnevalt on jäetud aluspind puhastamata või ei ole valitud puidule sobiliku värvi). Raamide puitmaterjal on rahuldavas seisus. Lõunapoolsetel avatäidetel on suuremad värvikahjustused mis on tingitud intensiivsest UV-kiirgusest (joonis 4.11).



**Joonis 4.11.** Lõunapoolne aken. (Autori foto)

Põhjapoolsetel akendel võib märgata niiskuskahjustust, mis on ehitistel tavaliselt kahjustuste levinuim liik. Meie kliimas on see vältimatu, kui ei ole piisavalt tähelepanu pööratud materjalide korrapärasele hooldamisele (joonis 4.12).



**Joonis 4.12.** Põhjapoolne aken. (Autori foto)

Hoone tänavapoolsetel keldriakendel on märgata veekahjustusi ja valguskastidel lagunemise märke. Antud kahjustused võivad tuleneda drenaaži puudumisest või ebakvaliteetsest ehitamisest (joonis 4.13).



**Joonis 4.13.** Tänavapoolse Keldri akna ja valguskasti vaade. (Autori foto)

Hoone välisüksed on puidust ning viimistletud õlivärviga. Uste seisukord on hea, kuna need on kaitstud otseste ilmastiku mõjude eest.

#### 4.2.6 Katusekatted ja katusekonstruktsioonid

Renoveerimistööde käigus on maja viilkatuse osas jäetud vana katuseplekk alles ning selle peale on tehtud uus topelt roovitus 50x50mm, mille peale on paigaldatud punased betoonist katusekivid, toodetud Est-Stein poolt. Veranda ja sissepääsude varikatustel on kasutatud tsingitud plekki ühekordse valtsiga. Vaatlemise käigus avastas autor, et idapoolse veranda katusekatte materjali seis on mitterahuldav. Pleki liitekohtade valtside muljumisest ning kaitsekihi kulumisest on hakanud materjal korrodeeruma, mis võib olla tingitud orgaanilisest saastest (näiteks puulehed) ja vee koostoimest (joonis 4.14). Katusekivid on heas seisukorras, autor ei tuvastanud peale pleekimise, mis on loomulik, muid ohumärke.



**Joonis 4.14.** Läänepoolse tsingitud valtsplekk-katus. (Autori foto)

Hoone katuse kandvateks elementideks on puitsarikad, keskmise sammuga 1200mm. Katuse rekonstrueerimise käigus on hoone sarikad toetatud pööningul 50x150mm diagonaalidega, mille ülemiste otste alla on kinnitatud vahepärlin ristlõikega 50x150mm. Üldine tarindite seisukord on hea.



### 4.3 Tulemuste analüüs

Hoone hindamisel kasutatakse Eesti Maaülikooli professor Tõnu Keskküla poolt koostatud tehnilise seisundi hindamise metoodikat (tabel 4.1).

**Tabel 4.2.-** Hindamise tulemused

Hinnatav osa	Hinne
Välisseinad ja vaheseinad	2
Terrass, rõdu ja sambad	2
Trepid	2
Sokkel	2
Vundament	2
Keldri siseseinad	2
Aknad	2
Uksed	3
Katusekatted (kivi)	3
Katusekatted (valtsitud plekk)	1
Katusekonstruktsioonid	3

Ehitus-tehniline seisukord on hoonel rahuldav. Kõige kriitilisemad kohad on lääne- ja idaküljel olevad verandad. Nende valtsplekk-katus on amortiseerunud ning vajab väljavahetamist (tabel 4.2).

Järgmine murekoht on veenina ja voodrilaua vaheline metallist liist, mis aegunud ning korrodeerub. Selle tulemusel võib vesi pääseda hoone seina puitkonstruktsioonide vahele, kus kahjustuste tekkimise korral tuleb võtta ette suuremad renoveerimistööd (tabel 4.2).

Hoone tänavapoolsed valguskastid on kohati lagunened või lagunemas. Tänu sellele võib sadevesi pääseda hoone keldriakende juurde, mille tulemusel saavad kahjustatud keldriaknad ning sealt kaudu võib vesi jõuda keldrisse (tabel 4.2).

Hoone üldise ilme parendamiseks ja puitmaterjalide kaitseks on soovitatav maja üle värvida koos välisvoodri eelneva puhastamisega vanast viimistlusest (näiteks liivapritsiga).

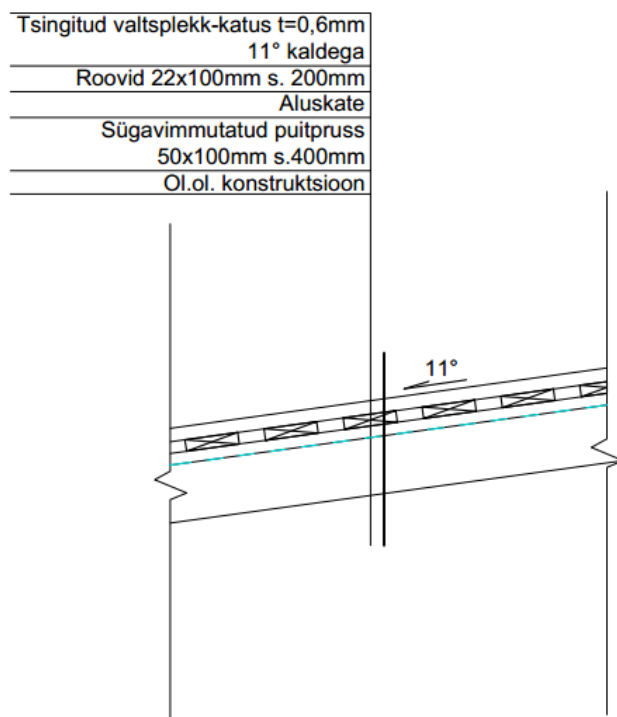
Vundamendi osas peaks tegema niiskuse poolt kahjustunud kohtadele kohtparandused.

## 4.4 Renoveerimislahenduste pakkumine

Renoveerimislahendused on välja pakutud kohtadele, mis on halvas seisus ning vajaks kiiremas korras renoveerimist. Antud lahendused on soovituslikud.

### 4.4.1 Veranda katuse sõlm

Tuleb eemaldada katusekatte materjal ning kontrollida roovide ja kandekonstruktsioonide seisukorda, vajadusel vahetada välja. Olemasolev tsingitud valtsplekkist katus asendada samaväärsega, toon tsingitud. Vajadusel vahetada olemasolevad sarikad välja sügavimmutatud 50x100mm puitprusside vastu, paigaldada sammuga 400mm. Aluskate kinnitatakse horisontaalselt sarikale ja seejärel distantслиistuga (ristlõikega 22x50mm) (joonis 4.15).



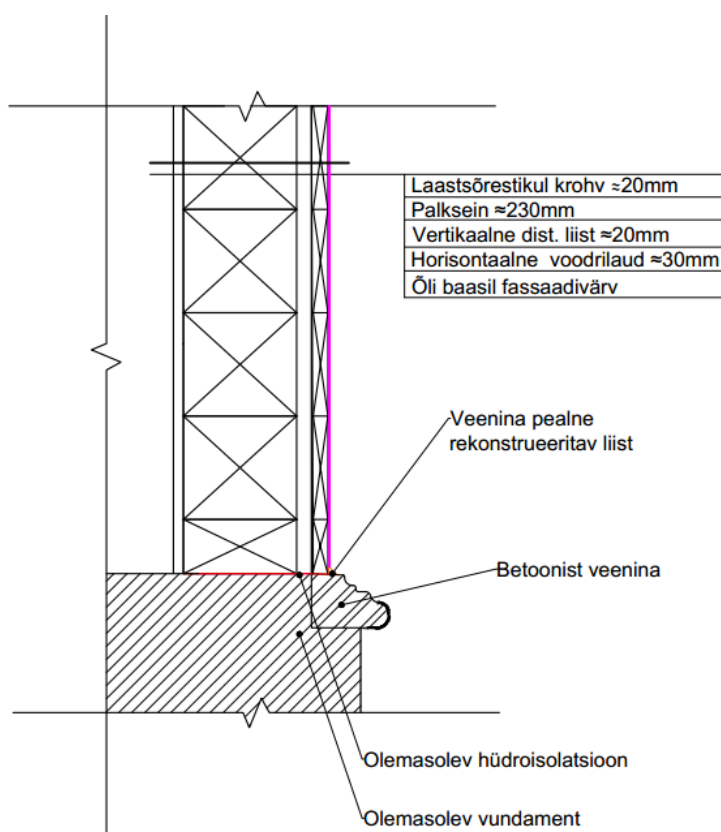
Joonis 4.15. Veranda katuse sõlm. (Autori foto)



Distantssliistule kinnitada roovitus, ristlõikega 22x100mm ja sammuga 200mm. Roovitus naelutatakse aluskatet hoidva distantssliistu peale kuumtsingitud naeltega, mis peavad ulatuma sarikasse. Vastavalt vajadusele paigaldada räästasse vihmaveerennid.

#### 4.4.2 Sokli veenina sõlm

Eemaldada sokli veenina ja voodrilaua vaheline metallist liist. Kontrollida kõige alumise voodrilaua seisukorda ja vajadusel välja vahetada. Jätta voodrilaua ja betoonist veenina vahele õhkvahe või paigaldada hüdroisolatsioon.

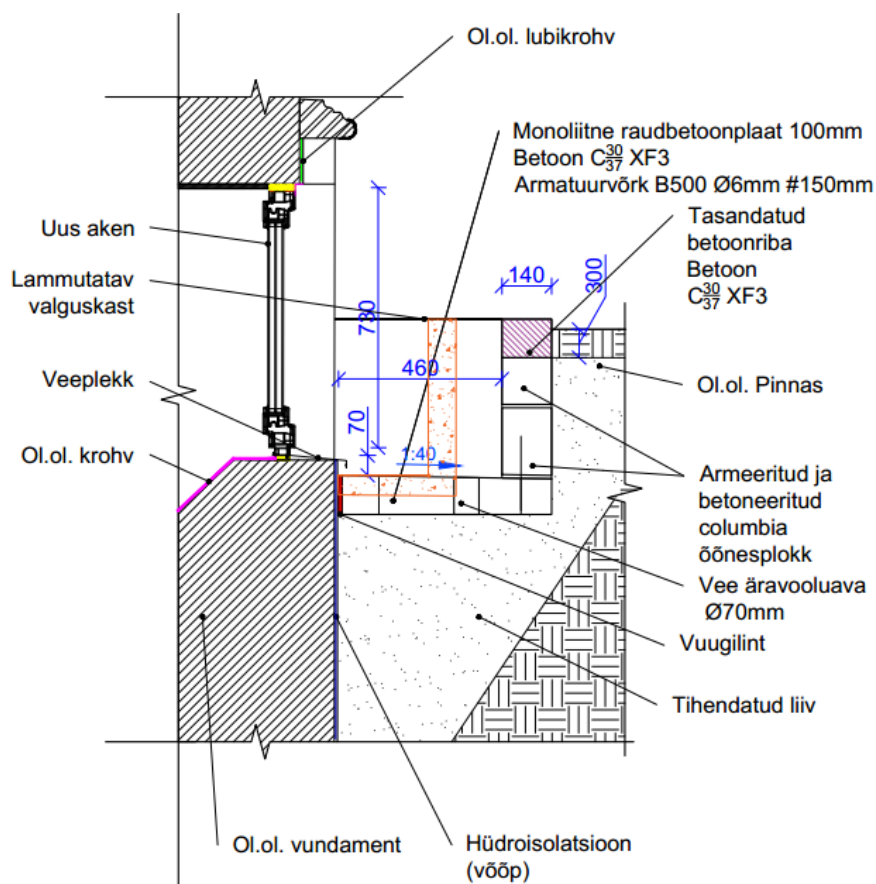


**Joonis 4.16.** Sokli veenina sõlm. (Autori foto)

Puhastada materjalid mustusest ja vanast värvikihist ning paigaldada uus liist. Täita ülemise ja alumise liistu vuuk elastse mastiksiga ning värvida hoone voodrilaudadega sama tooni (joonis 4.16).

#### 4.4.3 Valguskastide sõlm

Olemasolevad valguskastid lammutada täielikult, kuna nende seisukord on halb ning parandamine ei ole otstarbekas. Kaevata valguskastide alt pinnas välja ning puhastada vundament mustusest ja lahtistest osadest. Uueks täiteks kasutada liiva, mitte väljakaevatud pinnast. Rajada betoonist plaat, tugevusklassiga C30/37 XF3. Armeeringuks B500 armatuurvõrk silmusega 150 mm ja läbimõõduga 6 mm. Valguskasti müürid rajada armeeritud ja betoneeritud Columbia 140mm õõnesplokist, ülemine osa tasandada betoonivaluga C30/37 XF3 (joonis 4.17).



**Joonis 4.17.** Valguskastide sõlm. (Autori foto)

Tasuks kaaluda hoonele дренаaži rajamist. Teise lahendusena tasuks mõelda panduse rajamisele hoone perimeetril.

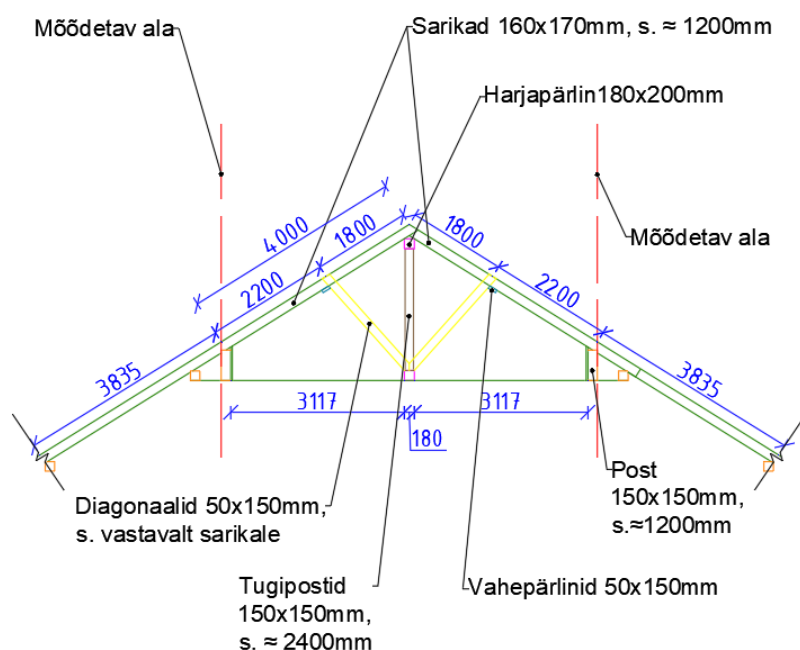
#### 4.4.4 Hoone seinte ja vundamendi värviparandused

Seintelt eemaldada lahtised värvi osad ja mustus. Pinnad mida ei soovita muuta või värvida kaetakse kinni värvimistööde ajaks. Pesta harja ja lahusega hallitanud või tugevamalt määrdunud pinnad, seejärel loputada surveveega ning lasta kuivada. Naelte ja metallkohtade peale kanda spetsiaalne kruntvärv. Seejärel värvida õlivärviga ülejäänud laudissein vastavaltfassaadi toonile. Vundamendilt eemaldada samuti lahtised osad ning mustus ja soovitud kohad või elemendid katta lubikrohviga.

### 4.5 Puidust kandekonstruktsioonide uurimine ja kontrollarvutused

#### 4.5.1 Sarikate uurimise metoodika

Sarikate uurimist alustati neile visuaalse hinnangu andmisega, uuriti sarikate vee- ja/või biokahjustusi. Selgitati välja millistel sarikatel on kõige suuremad kahjustused ning nende kohtade pealt teostati resistograafia mõõdistused. Sarikate mõõtmised teostati pööningu avatud e ligipääsetavas osas (joonis 4.18).



**Joonis 4.18.** Katuse kandekonstruktsiooni skeem. (Autori foto)

Seejärel mõõdeti kõikide sarikate ristlõiked kasutades digitaalset nihkkaliiberit. Kuna tegemist on kirvega tahatud sarikatega, siis nende ristlõige on muutuv ning selleks teostati mõõtmised sarika ülemisest, keskmisest ja alumisest otsast. Saadud tulemustest arvutati sarikatele keskmine ristlõige, mis võeti arvesse tugevuskontrolli arvutamisel (lisa nr 6).

#### **4.5.2 Sarikate ristlõike mõõtmine**

Sarika ristlõikeid mõõdeti digitaalse nihkkaliiberiga INSIZE IP67. Antud seadmel on IP67, mis tähendab seda et selle tolmu- ja mustuskindlus on 6. Number 7 tähendab seadme veekindlust. Resolutsioon on 0,05mm/0,0005'' kohta. Seadmel on kaks nuppu, ühest saad nullitakse tulemust ning teisest saad muudetakse ühikuid. Seade ise on tugevdatud karastatud terasest (INSIZE 2018).

Mõõtmised teostati alumisest, keskmisest ja ülemisest otsast. Koostati tabelid kus on ära toodud mõõdud ning keskmine tulemus, mis võetakse arvutamisel arvesse.

Lisas 7 on ära tähistatud sarikad, millel ilmnesid visuaalsel vaatlemisel veekahjustused või lõhed ning millele tehti resistograafia täiendavad mõõtmised. Kõige väiksema kõrgusega (116mm) sarikas on nr. 12 (lisa nr 6).

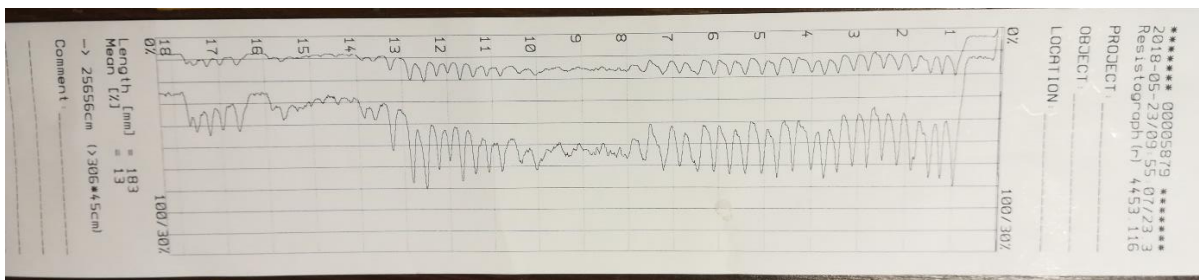
#### **4.5.3 Resistograafia ristlõigete uurimine**

Resistograaf on seade, millega on võimalik tuvastada erinevaid hälbeid ja mädanikke nii elus- kui ehituspuidus. Seadme abil on puidu hindajal võimalik tuvastada, kas puidus on mädanikke, pragusid, õõnsuseid või muid erinevaid omapärasid. Sellega hinnatakse puu kvaliteeti ja stabiilsust (4.19). Antud meetodit võib lugeda purustavaks hindamise meetodiks.



**Joonis 4.19.** Resistograafia mõõtmine. (J. M. Roots foto 2018)

Seade puurib puitu 1,5mm mikropuuri ning puuri erinevad takistused saadetakse kompuutrisse, mis väljastab EKG sarnase kardiogrammi, kas ekraanile või paberile (joonis 4.20). Eluspuidus paraneb 2mm ava väga ruttu ning puule ei teki lisakahju. Ehitupuitu jäävad 2mm läbimõõduga süvised konstruktsioonile ohtlikud ei ole. Graafikute alusel on võimalik määrata puidu tihedust, tugevusklassi, jääkristlõiget, kõvadust jm (Konsa, K. Pilt, K. 2012: 28).



**Joonis 4.20.** Kardiogramm paberil (välitööleht). (Autori foto)

Graafikud annavad hinnangu, mis puu struktuuriga täpsemalt toimub. Siit tulevad ka mõned iseärasused mida tasub silmas pidada kui kardiogrammi loetakse. Lehtpuidul on reeglina suurem vastupanud ehk tihedus kui okaspuidul. Kui puurida kevadpuitu tangentsiaalses sihis

tekivad kardiogrammile pikad madalad osad. Sügispuidu vastupanu on suurem kui seda on kevadpuidul. Seenkahjustuse korral langeb graafik ühtlaselt. Puidu kuivamispraod ja lõhed tekitavad kardiogrammile suured järsud lõhed. Putukakahjustuste korral tekivad kardiogrammile sügavad ja järsud langused, reeglina on need puidu pinnakihtides (Rinn 1994: 3).

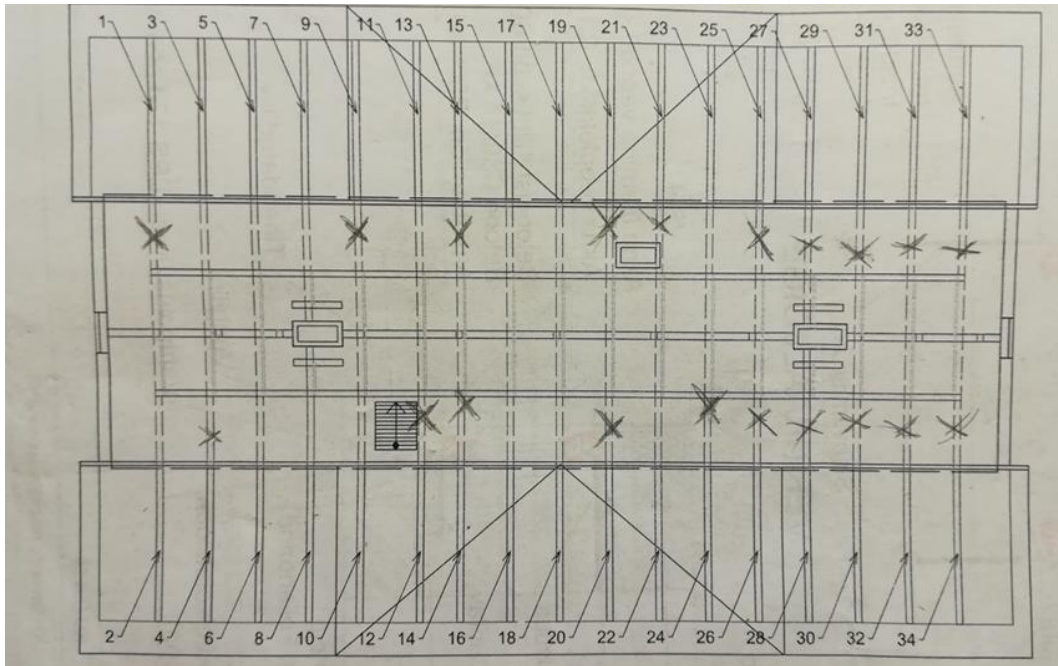


**Joonis 4.21.** Resistograaf 4453-P komplekt. (Autori foto)

Uurimine teostati Eesti Maaülikooli poolt väljastatud seadmega Resistograph 4453-P. Eraldi juhtmetega on ühendatud aku ja juhtseade. Juhtpuldi küljes on printer, mis prindib vajadusel vahetult puurimisega kardiogrammile tulemust. Samas salvestatakse tulemused ka mälli, kust neid on võimalik arvutisse laadida (joonis 4.21). Trelli üks puudusi on tema konstruktiivne pikkus 650mm, mis võib kitsamates kohtades probleeme tekitada (RINNTECH 2018).

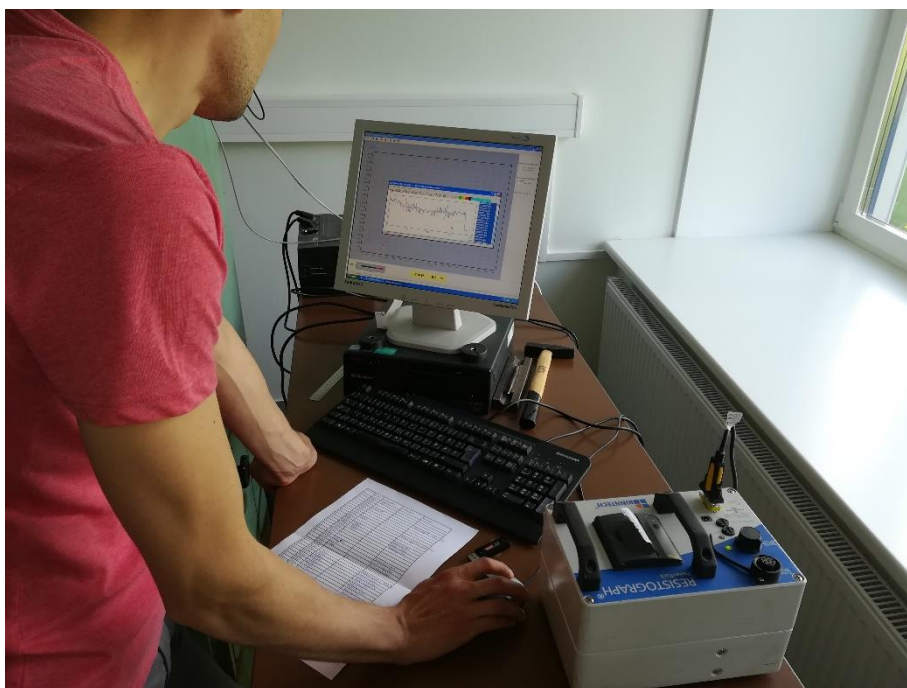
Antud hoones hinnati sarikate jääkristlõikeid ning tehti kontrollarvutus kõige halvemas seisus olevale sarikale. Puurimiskohad kanti sarikate jaotus-skeemile (joonis 4.22).





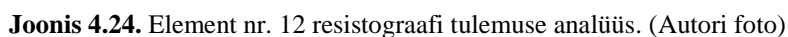
**Joonis 4.22.** Sarikate puurimiskohtade skeem (välileht). (Autori foto)

Tulemusi töödeldakse DECOM tarkvaraga. Antud programmi puudumisel saab ka Excel tarkvaras tulemusi töödelda. Seadme saab andmed kätte ainult XP tarkvaraga ning nende töötlemiseks kasutati Maaehituse osakonna laboratooriumi arvutit (joonis 4.23).



**Joonis 4.23.** Andmete teisendamine seadmest arvutisse. (Autori foto)

Antud mõõtmised teostati 20 sarikal, millel oli märgata visuaalseid kahjustusi (näiteks lõhesid või veekahjustusi). Graafiku analüüse uurides selgus, et kuueteistkümmel sarikal sisemisi defekte (kandevõime langus) ei tuvastatud. Uuritavatest kandelementidest selekteeriti välja neli resistograafi tulemust, milles oli märgata tugevamaid kahjustusi (lisa nr 8).



#### 4.5.4 Niiskuse mõõtmise sarikates

48





**Joonis 4.25.** Niiskusemõõtja Brookhuis FME. (Autori foto)

Niiskusemõõtmised teostati ainult nendes sarikates, milles esinesid visuaalsed kahjustused ning mida uuriti resistograafia. Mõõtmistulemused jäid vahemikku 11-13,9% (vt lisa nr 7). Õhutemperatuur oli antud hetkel pööningul ligikaudu 25 C°. Antud juhul jääb niiskusetase vahemikku 10-15%, mis on tiserikuiv puit, õhukuiva puidu niiskuse vahemik on 15-25% (Puuinfo 2018).

Selgus et antud sarikatel visuaalsel vaatlusel tuvastatud veekahjustused on pinnapealsed ning niiskus on puidust täielikult väljakuivanud. Suure tõenäosusega olid niiskus kahjustused tekkinud vana katuse läbijooksul kui praegu on hoonel uus katus ning niiskus on väljakuivanud. Antud sarikate nii madala niiskusesisalduse põhjuseks võib olla madal õhuniiskus pööningul mida antud olukorras ei mõõdetud.

## 4.6 Kontrollarvutused

### 4.6.1 Lumekoormus

Katuse lumekoormuse normsuuruse määramiseks kasutatakse valemit

$$S = \mu_i s_k \quad (4.1)$$

kus  $\mu_i$  - lumekoormuse kujutegur;

$s_k$  - lumekoormuse normsuurus maapinnal  $\text{KN/m}^2$

#### Lumekoormus antud olukorras

Lume normkoormus võtta standartist asukoha järgi, milleks on antud hetkel Tartu linn (EVS-EN 1991-1-3:2006/NA:2016). Selleks on:

$$s_k = 1,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kujutegur leitakse tabelist, mis sõltub katuse tüübist ehk kujutegurist ja kaldest. Selleks tuleb kasutada antud valemit

$$\mu_1 = \frac{0,8(60-\alpha)}{30} \quad (4.2)$$

Antud mõõdetavas osas on tegemist viilkatusega mille kaldenurk on  $\alpha=31^\circ$ . Antud nurk jääb  $30^\circ < \alpha < 60^\circ$  vahele ning vastavalt sellele tuleb kasutada valemit (4.2):

$$\mu_1 = \frac{0,8(60-31)}{30} = 0,773$$

Katuse normatiivse lumekoormus leitakse valemiga (4.1):

$$S = 0,773 \cdot 1,5 = 1,16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lumekoormuse saamiseks peab normatiivse lumekoormuse korrutama läbi muutuva koormuse osavaruteguriga  $\gamma_Q = 1,5$ . Arvutuslik lumekoormus leitakse valemiga

$$S_d = \gamma Q \cdot S = 1,5 \cdot 1,2 = 1,8 \frac{kN}{m^2}$$

Seejärel saadakse katuse reaalne lumekoormus arvutusega

$$S_a = S_d \cdot \cos \alpha = 1,8 \cdot \cos 31^\circ = 1,54 \frac{kN}{m^2}$$

#### 4.6.2 Tuulekoormuse arvutus

Tuulekoormust loetakse muutuvkoormuseks. See esitatakse tarindile mõjuvate rõhkude ja jõudude kombinatsioonina. Antud arvutustes lähtutakse standartist (EVS-EN 1991-1-4/NA:2007) ja ehituskonstruktori käsiraamatust.

Antud hoone paikneb piirkonnas, kus läheduses esineb kõrghaljastus ning ümbruskond on tiheasustus. Sellest lähtuvalt tuleb võtta maastikutüübiks III. Hoone kõrgus on 10,8 m.

Tuule baasrõhk leitakse valemiga

$$q_p(z_e) = 475 \frac{N}{m^2}$$

Arvutusliku tuulekoormuse saadakse

$$w_d = \gamma_Q \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (4.3)$$

Tuulekoormust arvestatakse ühtse pinnana, kuna neelu jaotamisel tuleks kombineerida neelukohad ja erinevad viilkatused. Sellest sõltuvalt ei ole jagatud katust tsoonideks ning arvutustes on võetud kõige negatiivsem tuulekoormuse olukord. Kuna katusetahud on võrdse pikkuse ja kaldega mõlemalt poolt hoonet, siis tehakse arvutused ainult sellele sarikale, mis on kõige nõrgem. Katuse tuulerõhu koormused arvutatakse välja vastavalt positiivsete ja negatiivsetena

Positiivne arvutuslik tuulekoormus (4.3):

$$w_d = 1,5 \cdot 475 \cdot 0,7 = 498,75 \frac{N}{m^2}$$

Negatiivne arvutuslik tuulekoormus (4.3):

$$w_d = 1,5 \cdot 475 \cdot (-0,5) = -356,25 \frac{N}{m^2}$$

#### 4.6.3 Omakaalukoormused

Materjalide massid on saadud kasutades Ehituskonstruktori käsiraamatut (Masso *et al.* 2012: 184).

$$g_d(0) = \gamma_Q \cdot g_k \quad (4.4)$$

Kus  $\gamma_Q$  - osavarutegur (antud arvutustes 1,2)

$g_k$  - mahukaal  $\left(\frac{kN}{m^2}; \frac{kN}{m^3}\right)$

Est-Stein katusekivide omakaal (4.4):  $g_k(Kivid) = 0,44 \frac{kN}{m^2}$

$$g_d(Kivid) = \gamma_Q \cdot g_k = 1,2 \cdot 0,44 = 0,53 \frac{kN}{m^2}$$

Puidu mahukaal (C24) (4.4):  $g_k(Puit) = 3,5 = 3,5 \frac{kN}{m^3}$

$$g_d(Puit) = \gamma_Q \cdot g_k = 1,2 \cdot 3,5 = 4,2 \frac{kN}{m^3}$$

Plekk-katuse mahukaal  $g_k(Plekk) = 0,06 = 0,06 \frac{kN}{m^2}$

$$g_d(Plekk) = \gamma_Q \cdot g_k = 1,2 \cdot 0,06 = 0,07 \frac{kN}{m^2}$$

#### 4.6.4 Sarika tugevuskontroll

Tugevuskontroll teostatakse sarikale, mis on kõige kehvemas seisus. Kui antud sarikas kannab, siis võib järeldada, et ülejäänud sarikate kandevõime on tagatud.

Arvutatava sarika ristlõige on 117x122mm, sellest on ligikaudu 5% kahjustunud. Seega jääb kõrguseks järele 116mm. Arvutatavaks ristlõikeks võtame 117x116mm. Sarika arvutatava osa pikkus on ligikaudu 4m.

Hinnanguline tugevusklass C24.

Sarikate pealne roovitus on 50x50mm sammuga ligikaudu 350mm. Nende peal on plekk-katus. Seejärel on plekk-katuse peale paigaldatud sarikate sihis distantsliist 50x50mm sammuga ligikaudu 450mm ning sellepeale horisontaalne roovitus 50x50 sammuga ligikaudu 450mm. Nende peal asetsevad katusekivid.

Sarikale mõjuv omakaal

$$g_d(\text{Sarikas}) = g_{d(Kivi)} \cdot S_{sarikas} + g_{d(Puit)} \cdot b \cdot h \cdot \frac{1}{S_{h,roov}} + g_{d(Puit)} \cdot b \cdot h \cdot \frac{1}{S_{v,roov}} + g_{d(Plekk)} \cdot S_{sarikas} + g_{d(Puit)} \cdot b \cdot h \cdot \frac{1}{S_{h,roov}} \quad (4.5)$$

Kus	$S_{sarikas}$	–	Sarikate samm (m)
	$S_{v,roov}$	–	Sarikate sihis roovide samm (m)
	$S_{r,roov}$	–	Sarikatega risti sihis roovide samm (m)
	$g_{d(Kivi)}$	–	Kivikatuse omakaalukoormus $\left(\frac{kN}{m^2}\right)$
	$g_{d(Puit)}$	–	Puidu omakaalukoormus $\left(\frac{kN}{m^3}\right)$
	$g_{d(Plekk)}$	–	Plekk-katuse omakaalukoormus $\left(\frac{kN}{m^2}\right)$
	$b$	–	Laius (m)
	$h$	–	Paksus (m)

Arvutades saame (4.5):

$$g_d(\text{Sarikas}) = 0,53 \cdot 1,2 + 4,2 \cdot 0,05 \cdot 0,05 \cdot \frac{1}{0,45} + 4,2 \cdot 0,05 \cdot 0,05 \cdot \frac{1}{0,45} + 0,07 \cdot 1,2 + 4,2 \cdot 0,05 \cdot 0,05 \cdot \frac{1}{0,35} = 0,88 \frac{kN}{m^3}$$

Sarikale mõjuv lumekoormus:

$$S_d(\text{Sarikas}) = S_a \cdot s_{sarikas} = 1,54 \cdot 1,2 = 1,85 \frac{kN}{m}$$

Sarikale mõjuv tuulekoormus, mis tekitab paindemomenti:

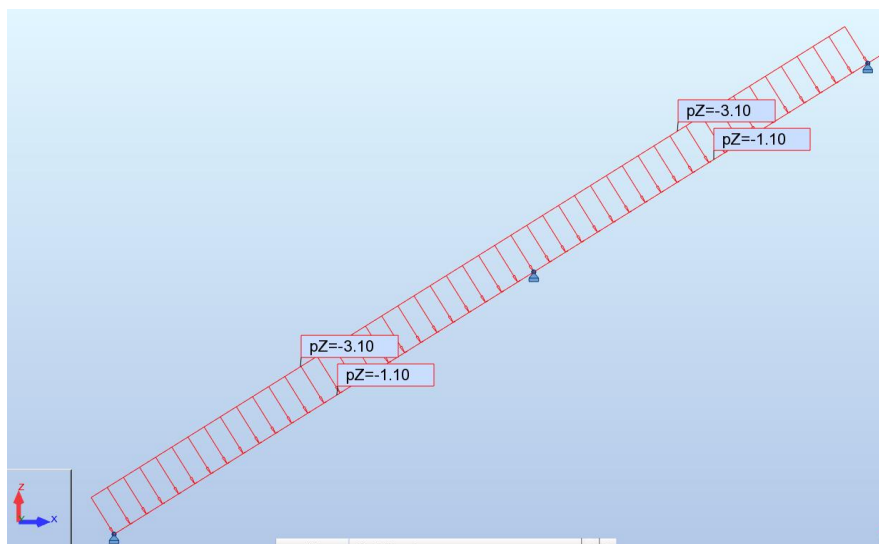
$$W_d = w_d(\text{surub}) \cdot s_{\text{sarikas}} = 0,5 \cdot 1,2 = 0,6 \frac{kN}{m}$$

Kandepiirseisundi koormuskombinatsioon:

$$\begin{aligned} q_z &= g_d(\text{Sarikas}) \cdot \cos 31 + S_d(\text{Sarikas}) \cdot \cos 31 + w_d(\text{surub}) \cdot \psi_0 \\ &= 0,88 \cdot \cos 31 + 1,85 \cdot \cos 31 + 0,6 \cdot 1 = 3,1 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

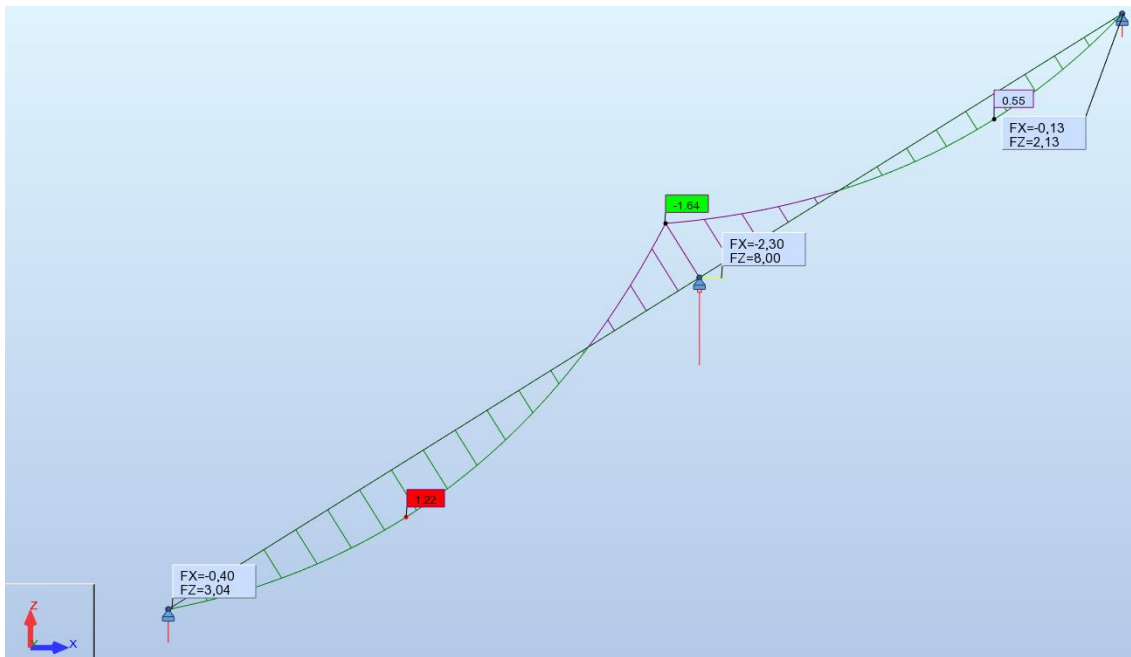
$$\begin{aligned} q_x &= g_d(\text{Sarikas}) \cdot \sin 31 + S_d(\text{Sarikas}) \cdot \sin 31 = 0,88 \cdot \sin 31 + 1,85 \cdot \sin 31 \\ &= -1,1 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Arvutusskeem on koostatud avatud ehk juurdepääsetavale sarika osale. Ligikaudne avatud osa pikkus on 4 meetrit (joonis 4.26).



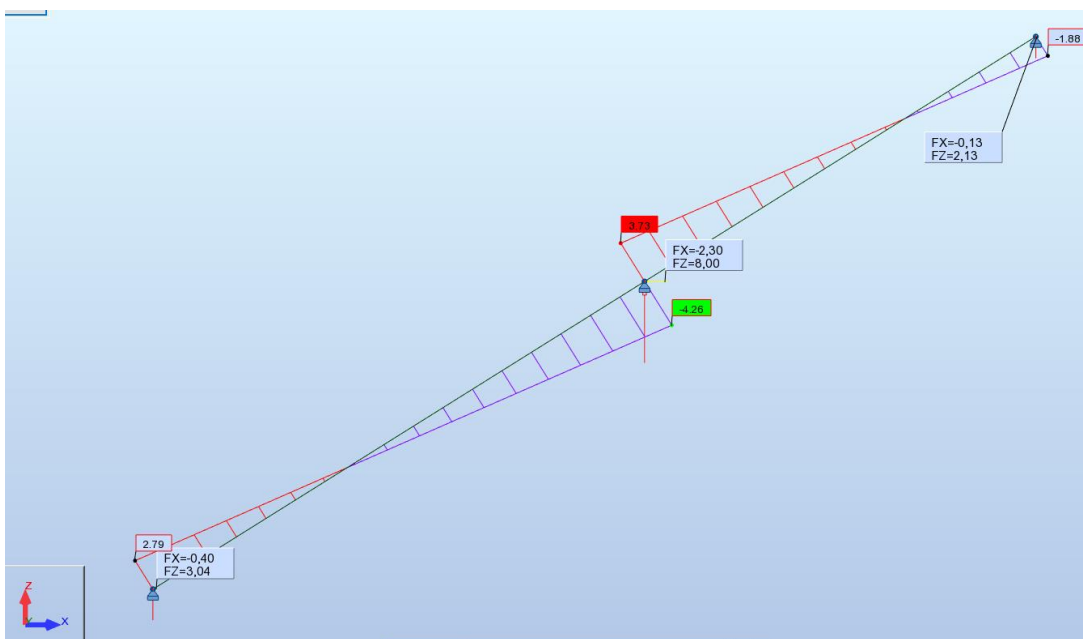
**Joonis 4.26.** Arvutusskeem Autodesk Structural Analysis Professional tarkvaras. (Autori foto)

Robot tarkvaraga leitud sisejõud (paindemomendi, põikjõu ja pikijõu epüürid) (joonis 4.27, 4.28 ja 4.29). Antud jooniselt saame maksimaalpaine väärtuse, mida kasutatakse maksimaalse paindepinge leidmisel (joonis 4.27).



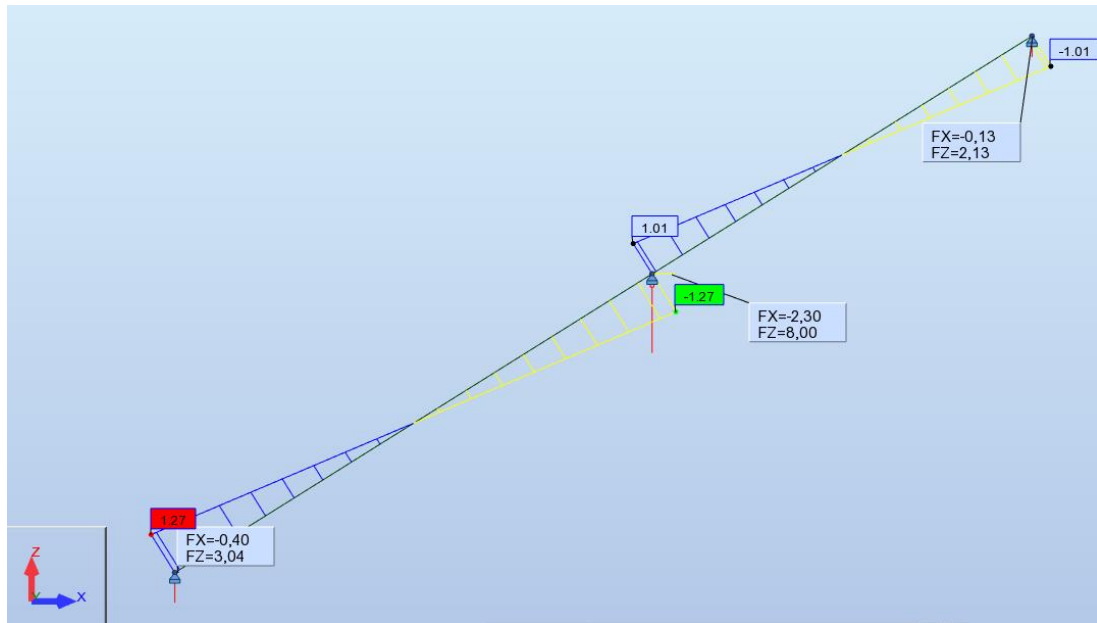
**Joonis 4.27.** Paidemomendi epüür (Autori foto)

Põikjõu epüürilt loetakse välja maksimaalne survejõud ,mida kasutatakse maksimaalse survepinge leidmisel (joonis 4.29).



**Joonis 4.29.** Põikjõu epüür (Autori foto)

Pikijõu epüürlilt saadakse teada maksimaalsed tõmbe- ja survejõu väärtused (joonis 4.30).



**Joonis 4.30.** Pikijõu epüür (Autori foto)

Peab olema täidetud tugevustingimus surve koos paindega

$$\left( \frac{\delta_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\delta_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (4.6)$$

Kus  $\delta_{m,z,d}$  – maksimaalne paindepinge  $\left( \frac{N}{mm^2} \right)$

$k_{crit}$  – tegur (antud juhul 1)

$\delta_{c,0,d}$  – maksimaalne survepinge  $\left( \frac{N}{mm^2} \right)$

$k_{cz}$  – kiivetegur

$f_{c,0,d}$  – arvutuslik survepinge  $\left( \frac{N}{mm^2} \right)$

Antud maksimaalne paindepinge ( $M_{z,d}$ ) võetakse tarkvarast Autodesk Robot Analysis

$$\delta_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{1640000}{262392} = 6,25 \frac{N}{mm^2}$$



$$M_{z,d} = 1,64 \text{ kNm} = 1640000 \text{ Nmm}$$

Leiame ristlõike (telg-) tugevusmoment (vastupanumoment) peatelje z suhtes

$$W_z = \frac{bh^2}{6} = \frac{117 \cdot 116^2}{6} = 262392 \text{ mm}^3$$

$$f_{m,y,d} = \frac{24 \cdot \sqrt{0,6 \cdot 0,8}}{1,3} = 12,79 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Antud maksimaalne survepinge on võetud Autodesk Robot Analysis

$$\delta_{c,0,d} = \frac{F_d}{A} = \frac{3730}{117 \cdot 116} = 0,275 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{21 \cdot \sqrt{0,6 \cdot 0,8}}{1,3} = 11,19 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kriitiline paindepinge:

$$\delta_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 117^2}{116 \cdot 100} \cdot 7400 = 6811,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kiivesaledus:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\delta_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{6811,5}} = 0,05 < 0,75$$

Sellest saame järeldada, et  $k_{crit} = 1$

Saleduse leidmine:

$$\lambda_z = \frac{\mu \cdot l}{i} = \frac{1 \cdot 2200}{33,8} = 65,1 \quad \text{Kasutame seda}$$

$$i_z = \frac{117}{\sqrt{12}} = 33,8$$

$$\lambda_y = \frac{\mu \cdot l}{i} = \frac{1 \cdot 100}{33,5} = 2,9$$

$$i_y = \frac{116}{\sqrt{12}} = 33,5$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{65,1}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,1 > 0,3$$

Vahetegur k:

$$k = 0,5[1 + \beta(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5[1 + 0,2(1,1 - 0,3) + 1,1^2] = 1,19$$

Kiivetegur:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,19 + \sqrt{1,19^2 - 1,1^2}} = 0,61$$

Sarika tugevuse kontrollimine (4.6):

$$\left(\frac{6,25}{1 \cdot 12,79}\right)^2 + \frac{0,275}{0,61 \cdot 11,19} = 0,28 \leq 1$$

Tugevustingimus on tagatud, tugevusvaru on 72%      =>      Sarikas nr. 12 kandevõime on hea.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli hinnata Maaehituse eriala 2.kursuse tudengite poolt 2017a. koostatud mõõdistusprojekti Baer'i majast (Veski tänav 4 Tartu), võrrelda 3D modelleerimisprogramme ja anda hoonele ehitustehniline hinnang. Eesmärgi saavutamiseks uuriti hoone ehitusajalugu, anti ülevaade majast, krundist ja omanikke ning ehituse etappidest. Ajalugu uurides avastati, et hoonel ja krundil on olnud palju erinevaid omanike ja kasutajaid ning maja on läbinud mitu ehitusetappi erinevates ajajärgudes. Teise maailmasõja perioodil ei saanud hoone kannatada ja säilitas oma välimuse. Maja on kasutatud erinevatel funktsionaalsetel eesmärkidel.

Järgnevalt analüüsiti ja hinnati Maaehituse eriala tudengite poolt koostatud Baer'i maja mõõdistusprojekti. Joonised olid koostatud Autodesk AutoCad tarkvaraga. Hindamisel tuvastati projekti puudujääke, mille täpsustamiseks tuli teha kontrollmõõtmisi. Vigu oleks saanud vältida, kui tudengid oleksid omavahel rohkem suhelnud ja võrrelnud mõõtetulemusi. Veel tuli välja, et ei ole kehtivat seadust või määrust, mis määratleks mõõdistusprojekti nõudeid või selle olemuse. Tuleks kehtestada määrus, mis määratleks mõõdistusprojekti nõuded.

Kolmandas peatükis võrreldi kolme erinevat 3D modelleerimistarkvara ArchiCAD, Vertex ja Revit. Tulemuse saavutamiseks koostati antud programmides Baer'i hoone erinevaid detaile ning võrreldi operatsioonide teostatavust. ArchiCAD ja Autodesk Revit programmiga koostati 3D mudelid. Töös selgus, et eelistatum on Autodesk Revit programm kuna enamus projekteerijaid kasutab oma töös Autodesk korporatsiooni poolt loodud ja arendatud tarkvarasid, need sobivad omavahel hästi ning neid on lihtne teisendada erinevate tarkvarade vahel.

Neljandas peatükis hinnati Baer'i maja visuaalselt ja Tõnu Kesküla poolt koostatud tehnilise seisundi hindamise meetodika järgi. Selle tulemusel selgus, et maja ehitus-tehniline seisukord on rahuldav. Kõige halvemas olukorras on valtsplekk-katus, tänavapoolsed valguskastid, veenina ja voodrilaua ühendusliist, mis vajavad kindlasti rekonstrueerimist.

Teiste murekohtade väljatoomine ja lahenduste pakkumine on soovitatav. Katuse puidust kandekonstruktsioonide uurimistulemustest resistograafia ja nende kontrollarvutustest selgus, et sarikate kandevõime on tagatud.

Autor loeb oma magistritöös püstitatud eesmärgi ja ülesanded täidetuks. Baer'i maja omab olulist kultuuriloolist väärtust ja on Tartus erandlik oma säilinud arhitektuuri poolest ning seda peab kindlasti väärtustama. Autor soovib alustatud 3D mudeli loomise jätkamist antud hoonest ja selle juba 2017 õppepraktika käigus ülesmõõdetud detailidest, mille abil saaks alustada restaureerimise, osalise renoveerimise ja teatud sõlmede rekonstrueerimise projekti koostamist.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- 3D EKSPERT OÜ** (2018). BIM tarkvara arhitektidele – projekteerijatele. Open BIM põhitõed. [WWW] <http://www.3dekspert.ee/bim/archicad-ifc-uhilduvus/#mis-on-ifc-ja-mvd> (12.04.2018).
- Anderson, S., Järva, J. M., Laev, J., Liivatalu, T., Nurmeots, S., Ostra, M., Sova, N. H., Turk, D., Uibopuu, R., Võsokovski, H.** (2017). Nimekiri Baer'i hoone mõõdistajatest
- Arborest OÜ** (2018). ArborEst puuhooldus. Resistograafi tehnoloogia. [WWW] <https://www.arborest.ee/et/teenused/eluspuu-seisundi-diagnostika/resistograaf/> (10.04.2018).
- Eesti Entsüklopeedia** (1992). Üldentsüklopeedia. [WWW] <http://entsyklopeedia.ee/artikkel/m%C3%B5%C3%B5telint1>
- Eesti Maaülikool** (2018). Karl Ernst von Baer. Baeri muuseum. [WWW] <http://tuk.emu.ee/karl-ernst-von-baer/muuseum/> (29.04.2018).
- Ehitusinfo** (2018). Ehitussõnastik. [WWW] <http://www.ehitusinfo.ee/index.php?lmn> (10.05.2018).
- Ehitusseadus ( vastu võetud 15.05.2002, redaktsiooni kehtivuse lõpp 30.06.2015) – Riigi Teataja <https://www.riigiteataja.ee/akt/129062014013> (05.05.2018).
- Ehitusseadustik ( vastu võetud 11.02.2015, viimati jõustunud 01.07.2015) – Riigi Teataja <https://www.riigiteataja.ee/akt/103032017002> (05.05.2018).
- EVS 932:2017** (2017). Ehitusprojekt. Eesti standardikeskus.
- EVS-EN 1991-1-3:2006/NA:2016** (2016). Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus. Eesti standardi rahvuslik lisa.
- EVS-EN 1991-1-4/NA:2007** (2007). Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus. Eesti standardi rahvuslik lisa.
- INSIZE** (2018). Measuring tools. Caliper. Electronic Caliper. [WWW] <http://www.insize.ir/products/tools/caliper/02.php> (03.05.2018).
- Konsa, K. Pilt, K.** (2012). Hoonete biokahjustused. Tartu : väljastatud FaBBi projekti raames. 168lk.
- Käärid, S.** (2002). Hoonete remont ja rekonstrueerimine: (loengukursus). 1. osa. Tallinna Tehnikakõrgkool. 72lk.
- Maa-amet** **geoportaal.** [https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app\\_id=UU82A&user\\_id=at&LANG=1&WIDTH=1236&HEIGHT=734&zlevel=12,658496.86304685,6474391.9019141&setlegend=UUKAT1\\_82=1](https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1236&HEIGHT=734&zlevel=12,658496.86304685,6474391.9019141&setlegend=UUKAT1_82=1) (21.04.2018).

**Masso, T.; Rohusaar, J.; Mägi, R.; Talvik, I.; Jaaniso, V.; Otsmaa, V. Voltri V., Loorits K., Peipman T., Pukk O., Õiger K., Just E., Just A., Hartsuk V.** (2012). Ehituskonstruktori käsiraamat. Tallinn: EHITAME kirjastus. 577lk.

**Muinsuskaitseamet** (2010). Kultuurimälestiste riiklik register. Veski 4 ajalooline õiend. [WWW] [https://register.muinas.ee/ftp/DIGI\\_2013/pdf/eraT-0-76\\_001\\_0002406.pdf](https://register.muinas.ee/ftp/DIGI_2013/pdf/eraT-0-76_001_0002406.pdf) (01.05.2018).

Muinsuskaitseseadus (vastu võetud 27.02.2002, viimati jõustunud 01.04.2002) – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/123032015128> (23.04.2018).

Nõuded ehitise kasutusloa taotlemisel esitatavale ehitise mõõdistusprojektile (vastu võetud 27.12.2002, redaktsiooni kehtivuse lõpp 30.06.2015) – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/234288> (05.05.2018).

Nõuded ehitusprojektile ( vastu võetud 17.07.2015, viimati jõustunud 21.07.2015) – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/118072015007> (05.05.2018).

**Puuinfo** (2018). Puidu niiskus. [WWW] <http://puuinfo.ee/ehitamine/puitmaterjalid/puidu-niiskus/> (04.04.18).

**Quirk, V.** (2012). ArcDaily. A Brief History of BIM. [WWW] <https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim> (10.05.2018).

**Rinn, F.** (1994). Resistographic visualization of tree-ring density variations. *International Conference on Tree Rings, Enviroment and Humanity, Relationships and Processes, Tuscon, USA*.

**RINNTech** (2018). Resistograph Series 4. [WWW] [http://www.rinntech.de/images/stories/PDF/Resistograph\\_Sheet\\_E\\_Web\\_RIN270308.pdf](http://www.rinntech.de/images/stories/PDF/Resistograph_Sheet_E_Web_RIN270308.pdf) (10.05.2018).

**Rouse, M.** (2016). TechTarget. Definitions. 3D modeling. [WWW] <https://whatis.techtarget.com/definition/3D-modeling> (28.04.2018).

**Sculpteo** (2018). Homepage, 3D Modeling: Creating 3D Objects. [WWW] <https://www.sculpteo.com/en/glossary/3d-modeling-definition/> (20.04.2018).

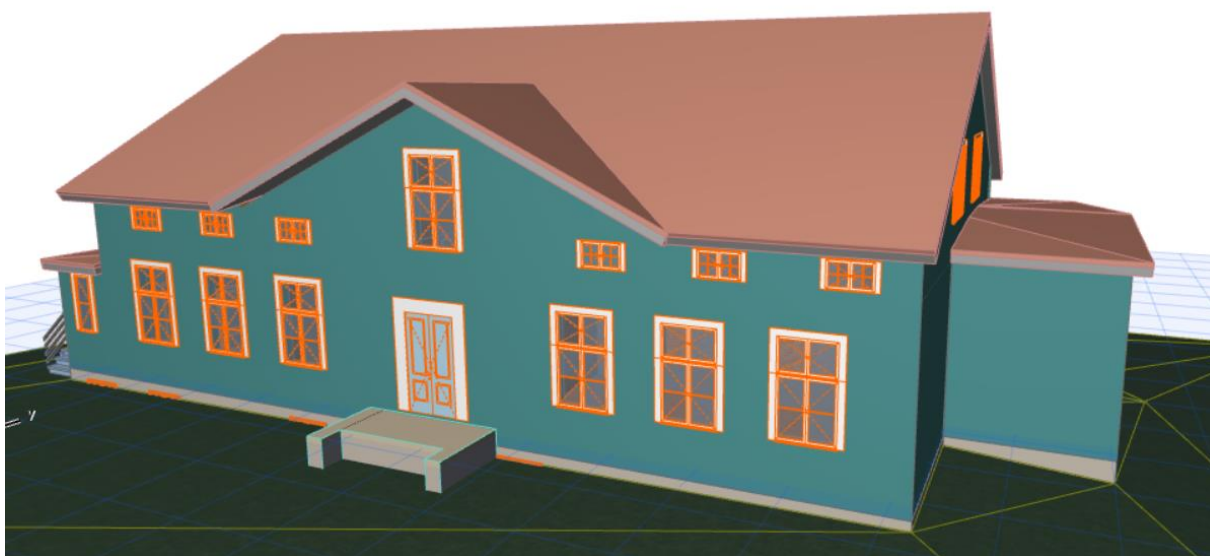
**Tooltech** (2017). Tulipunkt. Kui täpsed on ikkagi moodulindid. [WWW] <https://www.tooltech.ee/kui-tapsed-on-ikkagi-moodulindid/> (27.04.2018).

**LISAD**

## Lisa 1. Mõõdulintide tolerants vastavalt Euroopas kehtestatud normidele

MÕÕDULINDID	TOLERANTS MM VASTAVALT EL NORMIDELE		
	I TÄPSUSKLASS	II TÄPSUSKLASS	III TÄPSUSKLASS
3 MEETRIT	±0,4	±0,9	±1,8
5 MEETRIT	±0,6	±1,3	±2,6
8 MEETRIT	±0,9	±1,9	±3,8

## Lisa 2. Baer'i maja katsetused ArchiCad tarkvaras





**Lisa 3. Baer'i maja katsetused Revit tarkvaras**



**Lisa 4. Renderdatud vaade Revit tarkvaras**



**Lisa 5. Renderdatud vaade ArchiCad tarkvaras**



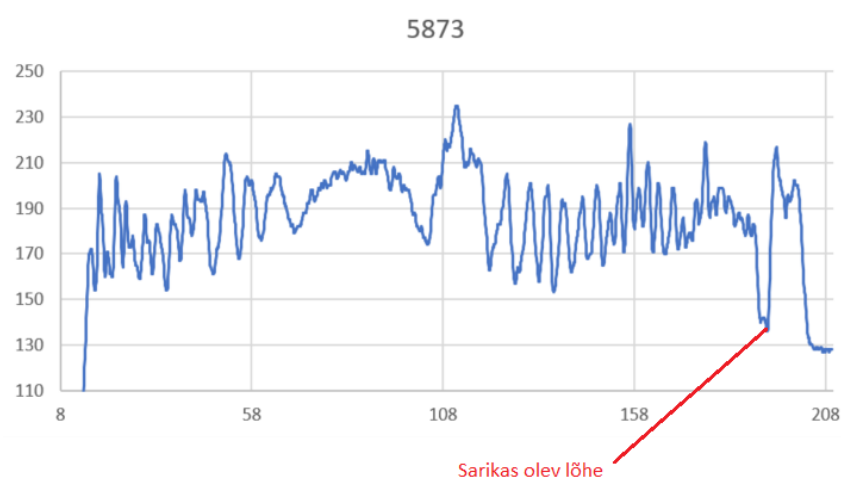
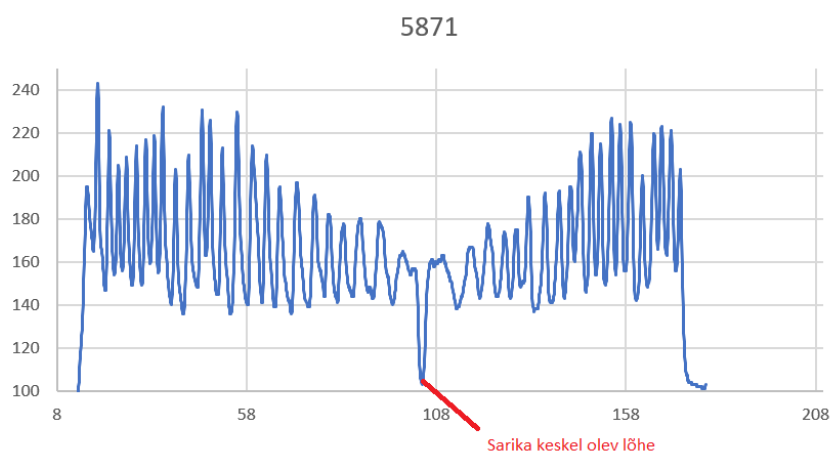
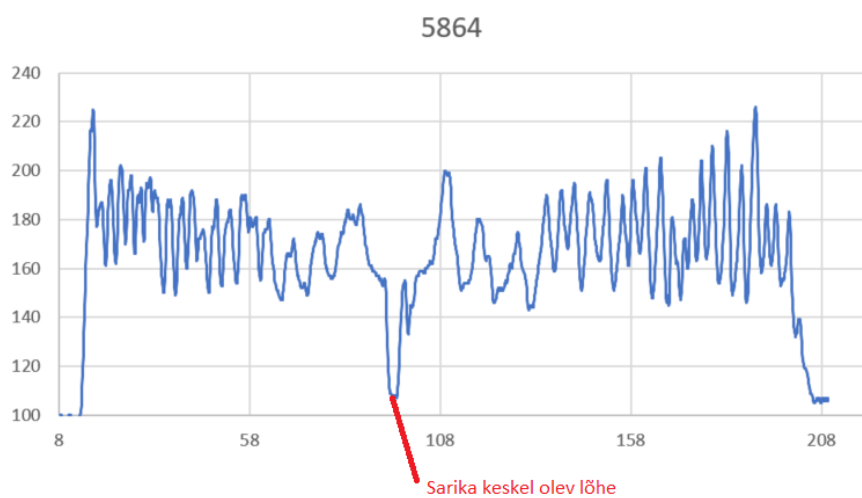
**Lisa 6. Sarika ristlõigete tabel**

Elemendi nr	Nimetus	Alumine ots (mm)		Keskmine mõõt (mm)		Ülemine ots (mm)		Sarika keskmine ristlõige (mm)	
		Laius	Kõrgus	Laius	Kõrgus	Laius	Kõrgus	Laius	Kõrgus
1	Sarikas	111	140	111	148	109	160	110	149
2	Sarikas	127	142	116	137	107	137	117	139
3	Sarikas	119	148	122	146	117	144	119	146
4	Sarikas	124	140	121	140	126	140	124	140
5	Sarikas	122	133	117	133	117	139	119	135
6	Sarikas	123	135	125	135	125	135	124	135
7	Sarikas	127	147	120	155	121	156	123	153
8	Sarikas	124	125	125	132	125	139	125	132
9	Sarikas	122	123	118	130	112	131	117	128
10	Sarikas	127	143	115	145	109	142	117	143
11	Sarikas	133	148	122	133	127	136	127	139
12	Sarikas	99	120	102	117	105	112	102	116
13	Sarikas	125	148	123	143	121	143	123	145
14	Sarikas	129	134	127	131	124	138	127	134
15	Sarikas	114	128	112	118	111	122	112	123
16	Sarikas	114	134	120	125	118	127	117	129
17	Sarikas	123	126	120	133	141	132	128	130
18	Sarikas	128	147	126	149	128	145	127	147
19	Sarikas	103	140	120	148	115	148	113	145
20	Sarikas	118	139	117	143	119	134	118	139
21	Sarikas	117	126	115	132	119	126	117	128
22	Sarikas	125	148	117	145	116	147	119	147
23	Sarikas	115	140	113	142	117	139	115	140
24	Sarikas	127	140	125	134	129	133	127	136
25	Sarikas	112	134	115	135	117	127	115	132
26	Sarikas	122	125	115	125	118	138	118	129
27	Sarikas	128	134	122	134	135	130	128	133
28	Sarikas	118	139	119	121	115	125	117	128
29	Sarikas	114	104	110	118	113	119	112	114
30	Sarikas	123	143	122	138	119	155	121	145
31	Sarikas	106	125	112	130	112	127	110	127
32	Sarikas	117	118	119	129	114	120	117	122
33	Sarikas	112	142	113	146	112	145	112	144
34	Sarikas	110	135	108	129	111	128	110	131

**Lisa 7. Resistograafia teostatud mõõtmised ja niiskusesisaldus (välileht)**

Elemendi nr.	Nimetus	Resistograafi nr.	Mõõtetulemus	Märkused	MC (%)
1	S	5856		VK	11,7
2	-				
3	-				
4	S	5857		VK, L	11
5	-				
6	-				
7	-				
8	-				
9	S	5857		L	11,5
10	-				
11	-				
12	S	5861		L	12,1
13	S	5863		VK, L	12
14	S	5862		VK, L	11,7
15	-				
16	-				
17	-				
18	-				
19	S	5864		L	12,3
20	S	5865		VK	11,7
21	S	5866		VK	12,5
22	-				
23	-				
24	S	5868		VK, L	13,4
25	S	5872		VK, L	11,2
26	S	5871		L	12,2
27	S	5873		L	13,4
28	S	5874		L	13,9
29	S	5876		VK, L	12,8
30	S	5875		VK, L	11,2
31	S	5877		VK, L	12,7
32	S	5878		VK, L	13,1
33	S	5878/5882		L	11,1
34	S	5880		L	13,6

## Lisa 8. Kahjustunud sarikate graafikud



## **Lisa 9. Mõõdistusprojekt (eraldi kammköites)**

**Lisa 10. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks  
ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Markko Leimann,

sünniaeg 31.10.1992

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Baer'i maja (Tartu linn, Veski tn 4) modelleerimine; ehitustehnilise seisukorra hindamine ja renoveerimislahenduste pakkumine, mille juhendaja on Tõnis Teppand,
  - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
  - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
  - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

\_\_\_\_\_

allkiri

Tartu, 28.05.2018

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)